



TUGAS AKHIR – TL 141584

**PENGARUH *CURING* AGENT AMONIAK DAN
ASAM ASETAT TERHADAP KEKUATAN TARIK
DAN STABILITAS TERMAL EPOKSI SEBAGAI
BAHAN ADHESIF BAJA ASTM A-36**

Satrya Yudha Prabawa
NRP 2709 100 011

Dosen Pembimbing
Dr. Hosta Ardhyanta, S.T.,M.Sc.

**Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015**

(halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL 141584

**THE ADDITION EFFECT OF CURING AGENT
AMMONIA AND ACETIC ACID TO
MECHANICAL PROPERTIES AND THERMAL
STABILITY EPOXY AS ADHESIVE
MATERIAL FOR A-36 STEEL**

Satrya Yudha Prabawa
NRP 2709 100 011

Advisor
Dr. Hosta Ardhyanta, S.T.,M.Sc.

**Department Materials And Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2015**

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH CURING AGENT AMONIAK DAN ASAM
ASETAT TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN
STABILITAS THERMAL EPOKSI SEBAGAI BAHAN
ADHESIF BAJA ASTM A-36**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**Satrya Yudha Prabawa
NRP 2709 100 011**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

Dr. Hosta Ardhyana, S.T., M.Sc. (Pembimbing)



PENGARUH CURING AGENT AMONIAK DAN ASAM ASETAT TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STABILITAS TERMAL EPOKSI SEBAGAI BAHAN ADHESIF BAJA ASTM A-36

Nama : Satrya Yudha Prabawa
NRP : 2709 100 011
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Dr. Hosta Ardhyananta. S.T., M.Sc

Abstrak

Resin epoksi merupakan material termoset yang banyak digunakan sebagai perekat, coating, dan matriks dalam komposit berbasis polimer. Epoksi memiliki sifat yang baik dalam hal kekuatan tarik, kekuatan bending dan stabilitas thermal. Salah satu aplikasi epoksi adalah sebagai bahan adhesif atau perekat.. Umumnya, perekat epoksi ditambahkan dengan hardener maupun bahan aditif agar mampu curing pada temperatur kamar. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan bahan adhesif berbasis polimer termoset yaitu epoksi. Epoksi yang dipakai adalah jenis Diglycidyl ether of bisphenol A dengan amoniak dan asam asetat sebagai curing agent, dengan perbandingan 10/20 ; 13,4/26,6 ; 16,7/33,3 ; 20/40. Lalu, bahan adhesif ini diaplikasikan ke baja ASTM A-36. Hasil pengujian TGA menunjukkan dengan penambahan amoniak dan asam asetat menurunkan stabilitas thermal. Pengujian FTIR menunjukkan adanya ikatan kimia antara epoksi, amoniak dan asam asetat. Hasil pengujian tarik dan pengujian adhesif optimum pada penambahan 30% curing agent amoniak dan asam asetat 5,30 Mpa dan 1,15 Mpa.

Kata Kunci : epoksi, amoniak, asam asetat, kekuatan adhesif, kekuatan tarik.



**THE ADDITION EFFECT OF CURING AGENT
AMMONIA AND ACETIC ACID TO MECHANICAL
PROPERTIES AND THERMAL STABILITY EPOXY AS
ADHESIVE MATERIAL FOR
A-36 STEEL**

Name	: Satrya Yudha Prabawa
NRP	: 2709 100 011
Department	: Materials & Metallurgical Engineering
Advisor	: Dr.Eng.Hosta Ardhyanta. S.T.,M.Sc

Abstract

Epoxy resin is a thermoset material that is widely used as adhesives, coatings, and polymer-based matrix composites. Epoxy has good properties in terms of tensile strength, bending strength and thermal stability. One application is as an epoxy adhesive or adhesive. Generally, epoxy adhesive formulation added with hardener and additives to be able to curing at room temperature. In this research, the process of making adhesive is an epoxy based thermoset polymer. Type of epoxy used was diglycidyl ether of bisphenol A with ammonia and acetic acid as curing agent, the ratio of ammonia and acetic acid is 10/20 ; 13,4/26,6 ; 16,7/33,3 ; 20/40% by total weight. Furthermore, the adhesive will be applied to the ASTM A-36 steel. The result from TGA test is, more ammonia and acetic acid can reduce the thermal stability. And FTIR test shows chemical bond between epoxy, ammonia and acetic acid. The result from tensile test and adhesive test shows the optimum result is from 30% curing agent ratio which is 5,30 MPa 1,15 Mpa.

Keywords: epoxy, ammonia, acetic acid, adhesive strength, tensile strength.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala anugerah dan petunjuk-Nya, penulis mampu menyelesaikan tugas akhir yang berjudul :

“PENGARUH *CURING AGENT* AMONIAK DAN ASAM ASETAT TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STABILITAS THERMAL EPOKSI SEBAGAI BAHAN ADHESIF BAJA ASTM A-36”

Laporan tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Kedua orang tua, Drs H Mashuri M,Si dan Dra Maharini yang selalu mendo'akan dan menyemangati serta memberikan dukungan kepada saya.
2. Kedua kakak saya, Galuh Anggraini dan Shinta Dwijayati yang selalu memberi semangat dan menasehati.
3. Bapak Dr. Hosta Ardhyanta,S.T.,M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir;
4. Bapak Rindang Fajarin, S.Si., M.Si, selaku dosen wali;
5. Bapak Dr. Sungging Pintowantoro selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS;
6. Dosen Tim Penguji seminar dan sidang tugas akhir, serta seluruh dosen dan staff Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS;
7. Keluarga, relasi, dan seluruh orang berada dibelakang saya.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini mampu membantu pengembangan material untuk otomotif. Penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan.

Surabaya, 01 Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Epoksi.....	5
2.1.1 Reaksi Curing Epoksi	7
2.1.2 Senyawa Amida	8
2.1.3 Amoniak	9
2.1.4 Asam Asetat	9
2.2 Sifat Mekanik Polimer	9
2.3 Stabilitas Termal Polimer	11
2.4 Adhesif.....	11
2.5 Teori Adhesi	15
2.6 Mekanisme Curing.....	18
2.7 Baja ASTM A36	20
2.8 Interaksi Antara Bahan Adhesif dan Logam....	21
2.9 Kajian Penelitian Sebelumnya	24
2.10 Aplikasi Epoksi sebagai Bahan Adhesif.....	34

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	39
3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian.....	40
3.2.1 Bahan Penelitian.....	40
3.2.2 Peralatan Penelitian.....	40
3.3 Variabel Penelitian.....	44
3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	44
3.4.1 Preparasi Sample.....	44
3.4.2 Rancangan Penelitian	45
3.5 Pengujian	46
3.5.1 Pengujian FTIR.....	46
3.5.2 Pengujian TGA.....	47
3.5.3 Pengujian Tarik	48
3.5.4 Pengujian Adhesif.....	49

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perilaku Curing Epoksi	53
4.1.1 Curing Epoksi dengan Penambahan Amoniak dan Asam Asetat	53
4.1.2 Preparasi Spesimen Uji Adhesif	56
4.2 Hasil Pengujian	59
4.2.1 Analisa Pengujian FTIR.....	59
4.2.2 Analisa Uji Tarik.....	65
4.2.3 Analisa Uji Adhesif.....	73
4.2.4 Analisa Pengujian TGA	75

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	81
5.2 Saran	81

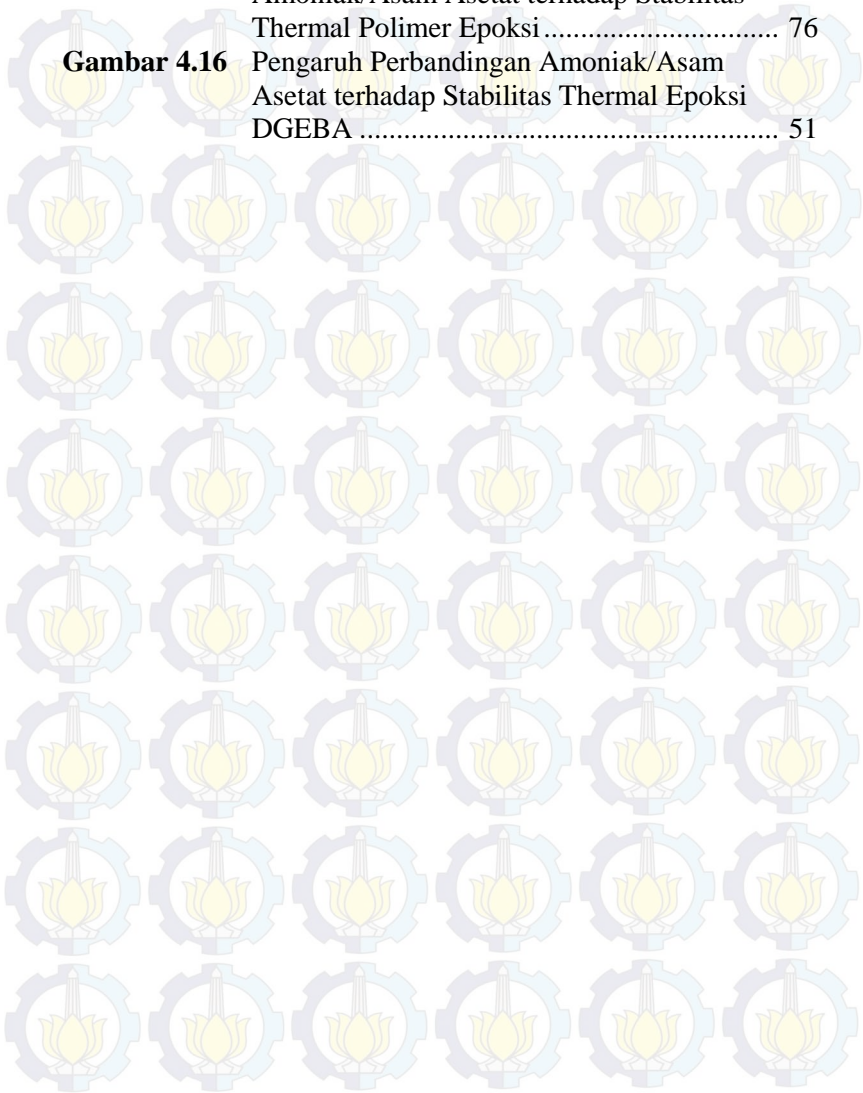
DAFTAR PUSTAKA	xxi
LAMPIRAN	xxiii
BIODATA PENULIS	xxix

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rantai Karbon Epoksi.....	6
Gambar 2.2	Sintesa Epoksi.....	6
Gambar 2.3	Contoh Grafik Hasil Uji Tarik.....	10
Gambar 2.4	Komponen <i>Adhesive Joint</i>	12
Gambar 2.5	Proses Pembasahan pada Permukaan Substrat	16
Gambar 2.6	Fenomena Teori Difusi Adhesi.....	17
Gambar 2.7	Fenomena Teori Mekanik Adhesi	18
Gambar 2.8	Mekanisme <i>Curing</i> Resin Epoksi	19
Gambar 2.9	Berbagai Lapisan dari Permukaan Substrat Logam.....	23
Gambar 2.10	Pengaruh Penambahan Al_2O_3 terhadap Kekuatan Adhesi Baja Karbon Rendah	26
Gambar 2.11	Hasil fotografi SEM dari Permukaan Epoksi dengan Penambahan Nano Al_2O_3 yang Telah Terkelupas dari Substrat Baja	27
Gambar 2.12	Kekuatan Geser dari Dua Formulasi\ Epoksi Adhesif <i>Cure</i> pada Berbagai Temperatur.....	30
Gambar 2.13	Hasil Uji FTIR dari Dua Jenis Resin Epoksi	31
Gambar 2.14	Hasil Pengujian <i>Single-Lap Shear Test</i>	33
Gambar 2.15	Hasil Pengujian dari BJT, NRS, dan TAS	33
Gambar 2.16	Penggunaan Bahan Adhesif di Berbagai Bidang.....	34
Gambar 2.17	Struktur Desain Ikatan Adhesif pada <i>Stiffener</i> dan Plate	35
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	39
Gambar 3.2	Epoksi Resin, Amoniak, dan Asam Asetat	40
Gambar 3.3	Wadah.....	40
Gambar 3.4	Timbangan Digital.....	41
Gambar 3.5	Pengaduk	41
Gambar 3.6	Cetakan	42

Gambar 3.7	Aluminium Foil	42
Gambar 3.8	Mesin Uji FTIR.....	43
Gambar 3.9	Mesin Uji Tarik	43
Gambar 3.10	Mesin Uji TGA.....	44
Gambar 3.11	Spesimen Uji Tarik.....	48
Gambar 3.12	Spesimen Uji <i>Lap-Shear</i>	50
Gambar 4.1	Fotograf Epoksi/Amoniak/Asam Asetat	54
Gambar 4.2	Fotograf Epoksi/Amoniak/Asam Asetat yang Telah <i>Curing</i> Sempurna.....	55
Gambar 4.3	Spesimen Uji Adhesif	57
Gambar 4.4	Spesimen Uji Tarik.....	58
Gambar 4.5	Spektra Inframerah Epoksi dengan <i>Curing</i> Agent Amoniak/Asam Asetat.....	60
Gambar 4.6	Spektra Inframerah Epoksi dengan Variasi Perbandingan <i>Curing</i> Agent Amoniak/Asam Asetat.....	63
Gambar 4.7	Spesimen yang Telah Diuji Tarik.....	66
Gambar 4.8	Pengaruh Penambahan Amoniak/Asam Asetat terhadap Kekuatan Tarik Epoksi	68
Gambar 4.9	Pengaruh Penambahan Amoniak/Asam Asetat terhadap Modulus Young Epoksi	69
Gambar 4.10	Pengaruh Penambahan Amoniak/Asam Asetat terhadap Elongasi Epoksi	70
Gambar 4.11	Pengaruh Rasio <i>Curing</i> Agent Amoniak/Asam Asetat Terhadap Kekuatan Tarik Epoksi DGEBA.....	71
Gambar 4.12	Pengaruh Rasio <i>Curing</i> Agent Amoniak/Asam Asetat Terhadap Modulus Young Epoksi DGEBA	72
Gambar 4.13	Pengaruh Rasio <i>Curing</i> Agent Amoniak/Asam Asetat Terhadap Elongasi Epoksi DGEBA	73
Gambar 4.14	Pengaruh Penambahan Amoniak/Asam Asetat terhadap Kekuatan Adhesif Epoksi	74

Gambar 4.15	Pengaruh Penambahan <i>Curing Agent</i> Amoniak/Asam Asetat terhadap Stabilitas Thermal Polimer Epoksi	76
Gambar 4.16	Pengaruh Perbandingan Amoniak/Asam Asetat terhadap Stabilitas Thermal Epoksi DGEBA	51

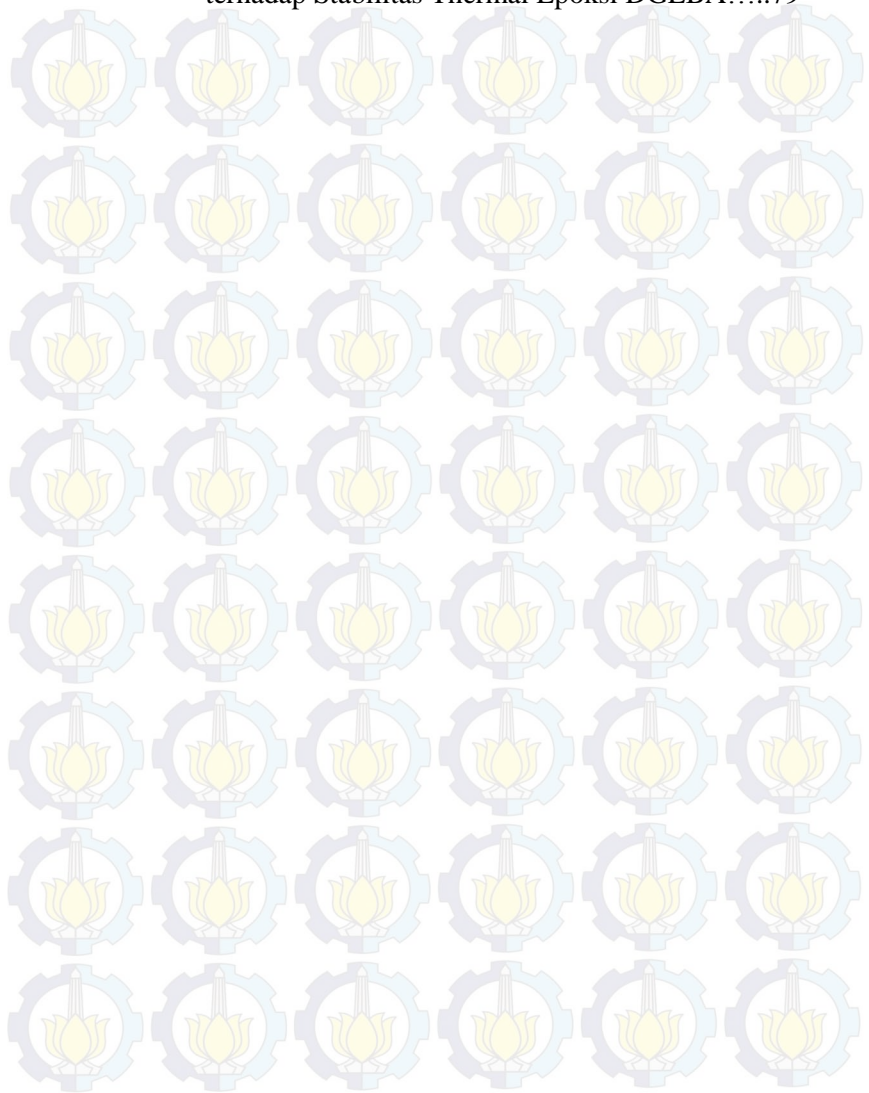




DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat Mekanik Epoksi	5
Tabel 2.2	Kelahiran dan Kekurangan Perakat Epoksi Curing pada Temperatur Kamar.....	14
Tabel 2.3	Komposisi Kimia ASTM A36.....	21
Tabel 2.4	Kekuatan Tarik ASTM A-36.....	21
Tabel 2.5	Sifat Mekanik dari Beberapa Bahan Adhesif	24
Tabel 2.6	Hasil Uji Tarik dari Perbedaan Penambahan Al ₂ O ₃ dan Surface Treatment	25
Tabel 2.7	Kekuatan Geser pada Temperatur 23°C dan 80°C dari Resin Epoksi.....	29
Tabel 3.1	Rancangan Penelitian.....	46
Tabel 4.1	Formulasi Variasi Perbandingan <i>Curing</i> <i>Agent</i> Amoniak/Asam Asetat terhadap Epoksi DGEBA.....	56
Tabel 4.2	Formulasi Variasi Perbandingan Komposisi <i>Curing Agent</i> terhadap Epoksi DGEBA	56
Tabel 4.3	Tabel Hasil FTIR Epoksi dengan Amoniak/Asam Asetat.....	61
Tabel 4.4	Tabel Hasil FTIR Epoksi dengan Variasi Perbandingan Amoniak/Asam Asetat Sebagai <i>Curing Agent</i>	64
Tabel 4.5	Pengaruh Amoniak/Asam Asetat terhadap Properti Tarik Epoksi.....	67
Tabel 4.6	Pengaruh Rasio Amoniak/Asam Asetat terhadap Properti Tarik Epoksi DGEBA.....	70
Tabel 4.7	Pengaruh Penambahan <i>Curing Agent</i> Amoniak dan Asam Asetat terhadap Kekuatan Adhesif Epoksi.....	73
Tabel 4.8	Pengaruh Penambahan <i>Curing Agent</i> Amoniak dan Asam Asetat terhadap Stabilitas Termal Epoksi.....	77

Tabel 4.9 Pengaruh Perbandingan Amoniak/Asam Asetat terhadap Stabilitas Thermal Epoksi DGEBA.....79





BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Resin epoksi merupakan material termoset yang banyak digunakan sebagai matriks, pelapis, dan perekat dalam komposit berbasis polimer. Epoksi memiliki sifat yang baik dalam hal *chemical reactive adhesive*, *thermal conductive adhesive*, *electrical conductive adhesive*, *corrosion resistance*, kekuatan tarik dan kekuatan bending (Pamungkas, 2011). Dari sekian banyak resin yang ada di pasaran, ada tiga jenis resin yang banyak digunakan yaitu epoksi, polyester, dan vinil ester. Dalam penelitian ini menggunakan resin epoksi. Penggunaan resin epoksi sebagai bahan dasar disebabkan kekuatan dan kekakuan dari resin epoksi lebih besar dibandingkan polimer jenis lainnya. Selain itu resin epoksi juga kompatibel secara kimia dengan sebagian besar substrat (material) dan cenderung mudah untuk membasahi permukaan substrat. Epoksi memiliki kekuatan tarik sebesar 51 MPa (ASM Handbook Vol.21, 2001) dan kekuatan geser antara 14-50 MPa. Formulasi epoksi umumnya menggunakan *diglycidyl ether* dari *bisphenol A* (DGEBA) sebagai bahan dasar resin epoksi. Epoksi dan poliepoxyd merupakan suatu polimer termoset yang umumnya dihasilkan dari reaksi antara *bisphenol A* dan *epichlorohydrin* (Teuku dkk, 2008).

Perekat epoksi pada umumnya terdiri dari 2 bagian penting, yaitu resin epoksi, dan *curing agent*. *Curing agent* atau *hardener* biasanya dicampurkan kedalam resin untuk menghasilkan perekat komponen tunggal, atau ditaruh dalam 2 wadah terpisah untuk kemudian dicampur sebelum diaplikasikan. *Curing agent* mempengaruhi kekuatan



kohesif, kekerasan, dan *durability* melebihi kekuatan adhesinya. Resin DGEBA dapat *curing* dengan amina atau poliamida pada sistem pengaturan di temperatur kamar. *curing agent* poliamida yang digunakan sebagian besar memiliki tujuan sebagai bahan perekat epoksi. Epoksi yang dikeraskan dengan poliamida menghasilkan perekat yang relatif fleksibel, tahan air, *peel strength*, dan sifat thermal yang baik (Petrie, 2007). Contoh beberapa jenis *curing agent* adalah amin, amid, asam anhidrid, imidazol, fenol, merkaptan, dan metal oksida. Untuk merubah menjadi epoksi plastik pada temperatur kamar, yang biasa digunakan adalah jenis amin, dan amid (Mandy, 1990). Amina primer dan sekunder berlaku sebagai reaksi adisi, dimana satu senyawa nitrogen-hidrogen bereaksi dengan satu senyawa epoksi. Reaksi dengan amina tersier dihasilkan dari pasangan elektron nitrogen yang tak terbagi (Boyle, 2001).

Akselerator sering dianggap sebagai bagian penting dari sistem, dimana akselerator bereaksi dengan resin epoksi untuk mengubah keadaan cair ke kondisi termoset keras. Pada umumnya jenis akselerator yang digunakan adalah amin, amid, asam anhidrid, imidazol, fenol, merkaptan, dan metal oksida. Pada penelitian ini akselerator yang akan digunakan adalah asam asetat. Dimana asam asetat sebagai akselerator amoniak yang bertindak sebagai *curing agent*. Sehubungan dengan uraian diatas, penelitian dilakukan untuk mempelajari penggunaan epoksi sebagai bahan dasar pembuatan perekat, karena epoksi merupakan resin yang umum dipakai dan mudah didapatkan. Di Indonesia studi mengenai epoksi sebagai bahan perekat masih sedikit, oleh karena itu studi mengenai sifat-sifat epoksi perlu dilakukan untuk mengoptimalkan penggunaan epoksi dalam kehidupan sehari-hari. Selain itu dituntut adanya inovasi



untuk bahan perekat yang mudah dibuat dan memiliki kekuatan adhesi yang baik serta mampu *curing* pada temperatur kamar.

Penelitian sebelumnya menggunakan resin epoksi dan penambahan *hardener* (rasio 3:1) dengan memvariasikan temperatur *curing* yaitu 5, 10, 25, 40 dan 70 °C, menunjukkan bahwa meningkatnya sifat mekanik tergantung pada temperatur *curing*. Pada temperatur rendah (0-10 °C) proses *curing* cenderung lambat jika dibandingkan pada temperatur tinggi (25-70 °C). Hal itu juga mempengaruhi sifat mekaniknya terutama pada kekuatan dan kekakuan. Tingginya temperatur *curing* berbanding lurus dengan sifat mekaniknya (Moussa dkk, 2012)

Berdasarkan dari penelitian diatas maka dalam penelitian ini dilakukan pembuatan bahan adhesif berbasis epoksi dengan amoniak/asam asetat sebagai *curing agent* dan diaplikasikan pada baja A36. Penelitian ini dilakukan guna memberikan solusi terhadap efisiensi bahan perekat yang diterapkan pada logam dan data-data dari penelitian ini nantinya diharapkan dapat dijadikan referensi dalam penelitian lain yang relevan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh pencampuran amoniak dan asam asetat sebagai *curing agent* terhadap kekuatan tarik dan stabilitas termal epoksi?
2. Bagaimana kekuatan adhesi epoksi terhadap kekuatan sambungan baja A36?



1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Temperatur dan tekanan udara sekitar dianggap konstan
2. Proses pencampuran dianggap homogen
3. Reaksi kimia dianggap homogen

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh pencampuran amoniak dan asam asetat sebagai *curing agent* terhadap kekuatan tarik dan stabilitas thermal epoksi
2. Menganalisis kekuatan adhesi epoksi terhadap kekuatan sambungan baja A36

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan resin epoksi sebagai bahan adhesif yang memiliki karakteristik sifat mekanik dan kekuatan adhesif yang baik dan mampu curing pada temperatur rendah sehingga dapat digunakan untuk aplikasi pada sambungan-sambungan material terutama logam yang memerlukan perekat serta untuk penelitian lain yang relevan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Epoksi

Epoxy thermosets termasuk kelompok polimer yang digunakan sebagai bahan pelapis, perekat, dan sebagai matrik pada material komposit, sangat luas digunakan pada banyak aplikasi seperti otomotif, *aerospace*, perkapalan, dan peralatan elektronik yang secara umum memiliki sifat yang baik dalam hal *chemical reactive adhesives*, *thermal conductive adhesive*, *electrical conductive adhesive*, *corrosion resistance*, kekuatan tarik dan kekuatan bending yang sangat baik. Namun demikian *epoxy* juga mempunyai kelemahan pada sifat sensitif, menyerap air, getas dan *notch sensitive* (Pamungkas, 2011). Tabel 2.1 menunjukkan sifat-sifat mekanik dari epoksi.

Tabel 2.1 Sifat Mekanik Epoksi (Boyle, 2001)

Property	Value
Glass transition temperature (Tg), °C (°F)	51 (123)
Heat distortion temperature, °C (°F)	49 (120)
Tensile strength, Mpa (ksi)	51 (7.45)
Tensile modulus, Mpa (ksi)	2979 (432)
Tensile elongation, %	2.8
Hardness, Shore D	81

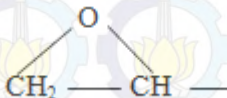
Epoksi banyak digunakan dalam hal pelapisan material / *coating* (contohnya pada bidang otomotif, perpipaan, dll), pembungkus alat-alat elektronik, pengganti pada pengecoran pada pesawat dan mesin otomatis. Material komposit pada industri luar angkasa, PCB (*Printed Circuit Board*), dan pipa bertekanan. Pada bidang konstruksi sering digunakan pada pembuatan lantai dan perbaikan jalur pesawat (Shelley, 1999).

Dr. Pierre Castan dari Swiss yang berhasil mensintesa epoksi pertama kali pada tahun 1936. Pada tahun 1939 Dr.S.O.



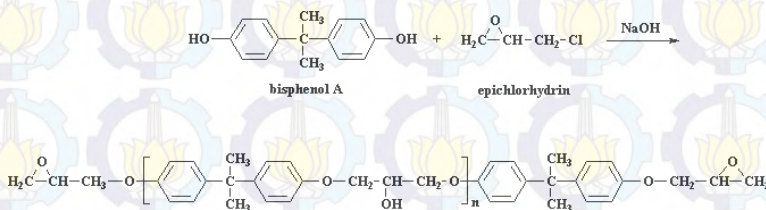
Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

Greenle dari Amerika meningkatkan kualitas epoksi dengan menemukan formula epoksi yang berdasar epiklorohidrin (epichlorohydrin) dan bisfenol A (bisphenol A). Jenis-jenis group epoksi dapat juga disebut *Glycidyl group* yang mempunyai rantai oksigen seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rantai Karbon Epoksi

Resin epoksi umumnya diproduksi dengan mereaksikan epiklorohidrin dengan bisphenol A. Berwujud cairan kental dalam keadaan termoplastik dan berbeda secara signifikan dari polyester dan resin vinil ester yang tidak mengandung komponen monomer yang mudah menguap. Resin yang berbeda dibentuk dengan memvariasikan proporsi epiklorohidrin dan bisphenol A. Apabila proporsi epichlorohydrin berkurang, berat molekul resin akan meningkat. Resin yang dibuat dengan cara ini terdiri dari campuran macam-macam berat molekul dimana karakteristik dari viskositas dan titik leleh dapat dilihat. Gambar 2.2 menunjukkan proses pembentukan epoksi.



Gambar 2.2 Sintesa Epoksi (Hollaway, 1994)

Akibat dari viskositas yang tinggi, resin epoksi sering diproses pada temperatur sekitar 50-100°C atau dilarutkan dalam



pelarut inert untuk mengurangi viskositas hingga pelapisan dalam temperatur ruangan dapat dilakukan. Namun hal ini dapat menimbulkan masalah dalam pembentukan pada temperatur rendah, karena resin dapat membeku sebelum semua pelarut menguap (Hollaway, 1994).

Epoksi resin mempunyai sifat yang unik, karena dapat menggabungkan salah satu atau banyak katalis dan dapat berfungsi sebagai pengisi untuk membentuk perekat. Katalis, sering dianggap sebagai bagian terpenting dari sistem, bereaksi dengan resin epoksi untuk mengubah dari keadaan cair ke kondisi termoset keras. Contoh beberapa jenis katalis adalah amin, amid, asam anhidrid, imidazol, fenol, merkaptan, dan metal oksida. Untuk merubah menjadi epoksi plastik pada temperatur kamar, yang biasa digunakan adalah jenis amine, dan amid. Karena jenis lain digunakan dengan kondisi temperatur antara 150-250°C. Berikut ini adalah beberapa karakteristik epoksi :

1. Kekuatan perlekatannya sangat baik dan dapat berikatan dengan hampir semua bahan material
2. Mempunyai sifat fisik dan kimia yang baik disertai dengan varietas *curing*, extender, pelarut dan filler yang harus diformulasikan dengan benar untuk aplikasi yang berbeda
3. Merupakan thermosetting, yang apabila dicampur akan berubah dari cair ke padat dan tidak dapat meleleh kembali. Oleh karena itu, epoksi menjadi menguntungkan dalam pemulihan retak dan permukaan penyegelan (Rizkyta, 2012).

2.1.1 Reaksi Curing Epoksi

Resin epoksi dapat curing dengan cara reaksi adisi dan reaksi homopolimerisasi. Selama curing pada epoksi resin terjadi pertumbuhan linear dan penambahan berat molekul. Ketika rantai mulai bercabang dan mencapai *gel point* maka cabang – cabang ini akan membentuk jaringan tiga dimensi yang tidak dapat putus.



Pada tahap akhir terjadi reaksi curing fraksi sol yang tersisa tergabung kedalam jaringan tersebut. Viskositas dapat dicapai dengan mengkonversikan *gel point* dan jaringan dapat dipadukan. Pada temperatur curing diatas transisi kaca maka reaksi kinetik dapat dikendalikan. Namun karena meningkatnya temperatur T_g mendekati curing point maka, reaksi menjadi lambat dan difusi dapat dikontrol. Untuk mendapatkan sifat mekanik dan ketahanan korosi yang optimal diperlukan temperatur diatas T_g dan dibutuhkan juga *gel point* yang tinggi. Resin epoksi dapat curing dengan beberapa reaksi kimia yang mengandung hidrogen seperti amina, fenol, asam karboksilat atau melalui eterifikasi pada rantai epoksida. (Maggie, 2001).

2.1.2 Senyawa Amida

Amida adalah suatu jenis senyawa kimia yang dapat memiliki dua pengertian. Jenis pertama adalah gugus fungsional organik yang memiliki gugus karbonil ($C=O$) yang berikatan dengan suatu atom nitrogen (N), atau suatu senyawa yang mengandung gugus fungsional ini. Jenis kedua adalah suatu bentuk anion nitrogen. Amida adalah suatu senyawa organik yang mempunyai nitrogen trivalen yang terikat pada suatu gugus karbonil. Dan merupakan turunan dari asam karboksilat yang sangat tidak reaktif, dimana gugus $-OH$ diganti dengan $-NH_2$ atau amoniak, dimana H diganti dengan asil. Dalam senyawa amida, gugus fungsi asil berkaitan dengan gugus $-NH_2$. Dalam pemberian namanya, akhiran $-Oat$ atau $-At$ dalam nama asam induknya diganti dengan kata amida. Amida banyak digunakan dalam alam dan teknologi sebagai bahan struktural.



2.1.3 Amoniak

Amoniak adalah senyawa kimia yang tersusun dari nitrogen dan hidrogen dengan rumus NH_3 , amonia umumnya bersifat basa, namun dapat juga bertindak sebagai asam yang amat lemah. Amonia dapat terbentuk secara alami maupun sintetis. Amonia yang berada di alam merupakan hasil dekomposisi bahan organik. Amoniak memiliki titik beku $-77,74^\circ\text{C}$ dan titik didih $-33,5^\circ\text{C}$. Larutan amoniak yang pekat mengandung 28% - 29% amoniak pada suhu 25°C

2.1.4 Asam Asetat

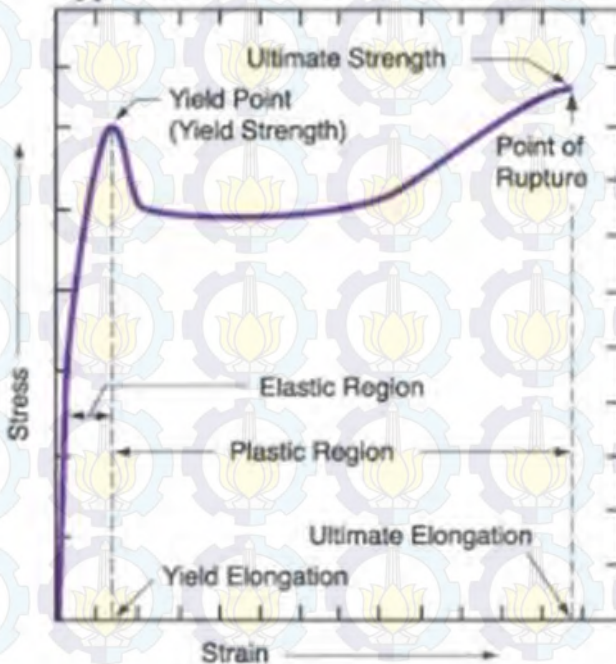
Asam asetat atau yang biasa dikenal dengan nama asam cuka memiliki rumus kimia CH_3COOH . Dalam bentuk murni, asam asetat dikenal sebagai asam asetat glasial karena mengkristal dalam suhu dingin. Seperti asam lainnya, asam setat bersifat korosif bagi banyak zat dan busa terlibat dalam berbagai reaksi kimia. Asam setat dikenal sebagai pelarut, reagen, dan katalis. Asam asetat memiliki titik lebur $16,5^\circ\text{C}$ dan titik didih $118,1^\circ\text{C}$.

2.2 Sifat Mekanik Polimer

Perilaku mekanika polimer termoplastik sebagai respon terhadap pembebanan secara umum dapat dijelaskan dengan mempelajari hubungan struktur rantai molekulnya dan fenomena yang teramati



Typical Stress-Strain Curve



Gambar 2.3 Contoh Grafik Hasil Uji Tarik

Perilaku mekanik dari polimer thermoplastik secara umum dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian, yaitu: Perilaku Elastik, Perilaku Plastik, dan Perilaku Visko-Elastik. Dimana perilaku termoplastik secara umum adalah elastik non-linear yang tergantung pada waktu. Hal ini dapat dijelaskan dari 2 mekanisme yang terjadi pada daerah elastis, yaitu: (1) distorsi keseluruhan bagian yang mengalami deformasi, dan (2) regangan dan distorsi ikatan – ikatan kovalennya. Perilaku elastik non-linear atau non-proporsional pada daerah elastis terutama berhubungan dengan



mekanisme distorsi dari keseluruhan rantai molekulnya yang linear atau linear dengan cabang.

2.3 Stabilitas Termal Polimer

Degradasi termal dari polimer adalah kerusakan molekul sebagai akibat dari *overheating*. Pada temperatur tinggi komponen tulang punggung rantai panjang polimer dapat mulai terpisah (pemotongan molekul) dan bereaksi dengan satu sama lain untuk mengubah sifat – sifat polimer.

Deradasi termal umumnya melibatkan perubahan ada berat molekul (dan distribusi berat molekul) dari polimer dan khas perubahan properti termasuk keuletan berkurang dan *embrittlement*, meninggalkan jejak, perubahan warna, pengurangan retak, umum di sebagian besar sifat – sifat fisik lainnya yang diinginkan (Villette dkk, 2004)

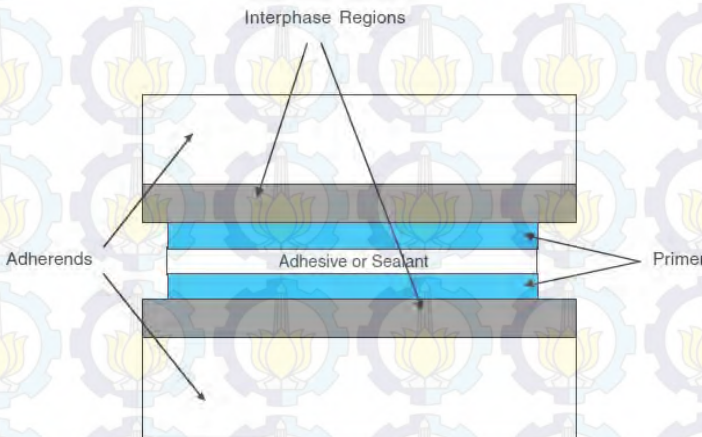
2.4 Adhesive

Adhesive adalah bahan yang digunakan untuk menahan setidaknya dua permukaan secara bersama-sama dengan kuat dan permanen. Sifat yang harus dimiliki bahan adhesive adalah harus mampu membasahi seluruh permukaan, mampu melekat pada permukaan, dan mampu menahan beban ketika diberi suatu gaya. Bahan baku untuk perekat biasanya terbuat dari polimer, baik polimer alam maupun sintesis (Packer, 1990).

Berdasarkan propertinya, bahan perekat yang dipilih harus memiliki kekuatan *bonding* yang baik, kekuatan geser dan kekuatan tarik yang tinggi. Fungsi utama perekat diartikan sebagai adhesi. Adhesi adalah daya tarik dari dua substrat yang berbeda yang dihasilkan dari gaya antarmolekul antara kedua substrat tersebut. Substrat adalah material yang telah terikat oleh perekat. Substrat sering disebut sebagai *adherend*. Daerah antara perekat dan *adherend* disebut sebagai daerah *interphase*. Daerah *interphase* memiliki perbedaan karakteristik secara kimia dan fisika dari bahan perekat atau *adherend*-nya. Sifat-sifat daerah



interphase sangat penting dalam menentukan properti dan kualitas bahan perekat. *Interface* berbeda dengan *interphase*, dimana *interface* merupakan hal yang terkandung dalam *interphase*. *Interface* merupakan bidang kontak antara permukaan satu dengan permukaan lainnya. *Interface* sering disebut dengan lapisan batas (*boundary layer*). Antara perekat dan *adherend* terdapat beberapa *interface* yang terdiri dari beberapa lapisan yang berbeda-beda (Petrie, 2007). Komponen-komponen perekat ditunjukkan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Komponen *Adhesive Joint* (Petrie, 2007)

Fungsi utama dari bahan adhesif adalah menahan dua substrat atau lebih secara bersamaan untuk perangkaian sebuah sistem. Dalam sebuah sistem, bahan adhesif dapat digunakan sebagai sealant, peredam getaran, insulator, dan *gap filler*. Karena bahan adhesif merupakan material *viscoelastic*, mereka bisa bertindak sebagai peredam getaran untuk mengurangi kebisingan dan osilasi yang ditemui di beberapa sistem. Properti lain dari bahan adhesif yang menguntungkan adalah memiliki kemampuan yang berfungsi sebagai listrik dan thermal insulator / isolator dalam sebuah sambungan. Tingkat insulasi dapat divariasikan



dengan formula perekat yang berbeda-beda disertai dengan penambahan *filler*. Tetapi bahan adhesif juga bisa menjadi material yang mampu menghantarkan listrik dan thermal jika diberi penambahan *filler* perak dan boron nitrida (Petrie, 2007).

Bahan adhesif modern umumnya diproduksi dengan memformulasikan bahan dasar resin dengan *filler*, *pigment*, *stabilizer*, *plasticizer*, dan bahan aditif lainnya. Proses yang terlibat dalam formulasi adhesif yakni dengan pencampuran yang sederhana maupun dengan proses kopolimerisasi yang canggih. Bahan dasar adhesif biasanya berasal dari resin polimer. Namun, tidak semua polimer bisa dibuat sebagai bahan adhesif yang baik. Untuk menghasilkan bahan adhesif yang baik, dengan memanfaatkan sifat mekanik dan kimia senyawa polimer tertentu, maka kekuatan dan *durable joint* dapat dicapai dengan menggunakan teknik aplikasi yang relatif sederhana.

Bahan adhesif dipilih karena mempunyai kemampuan dalam menahan dan mengikat. Mereka umumnya adalah material yang memiliki kekuatan geser dan kekuatan tarik yang baik. Terdapat 2 jenis adhesif dalam penerapannya, yaitu adhesif struktural dan non-struktural. Adhesif struktural merupakan bahan adhesif yang identik dengan kekuatan geser dan kekuatan tarik yang tinggi. Adhesif struktural umumnya digunakan untuk ikatan yang permanen dan tidak mudah *unbonded* sehingga tidak dapat merusak suatu sistem yang telah terangkai. Adhesif struktural biasanya terbuat dari formulasi yang komponen utamanya adalah resin polimer termoset seperti epoksi atau poliuretan. Sedangkan adhesif non-struktural adalah bahan adhesif dengan kekuatan yang rendah. Adhesif non-struktural biasanya digunakan dalam ikatan yang sementara atau untuk mengikat substrat yang lemah. Contoh adhesif non-struktural adalah perekat kayu, perekat berbentuk lembaran, *hot melts*, dan perekat elastomer. Adhesif non-struktural biasanya terbuat dari resin termoplastik (akrilik, polivinil asetat, atau polimer selulosa) dan terbuat dari alam (*casein*, *starch*, *dextrin*) (Petrie, 2007).



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

Perekat epoksi telah dikenal sejak tahun 1946 dan biasa digunakan pada industri otomotif, pesawat terbang dan lain-lain. Perekat epoksi merupakan bahan perekat yang serbaguna karena dapat mengikat dengan baik pada banyak substrat serta terbentuk secara kuat & tahan lama. Salah satu keunggulan perekat epoksi adalah dapat *curing* pada temperatur kamar. Perekat epoksi yang mampu *curing* pada temperatur kamar biasanya terdiri dari dua komponen adhesif. Komponen pertama terdiri dari resin epoksi, dan komponen kedua terdiri dari *curing agent*, hardener, katalis, *activator*, ataupun *accelerator*. Tabel 2.2 menunjukkan kelebihan dan kekurangan dari perekat epoksi *curing* pada temperatur kamar

Tabel 2.2 Kelebihan dan Kekurangan Perekat Epoksi *curing* pada Temperatur Kamar (Petrie, 2007)

Kelebihan	Kekurangan
Memiliki <i>lifetime</i> yang panjang ketika disimpan pada temperatur kamar	Campuran komponen harus diukur secara akurat dan dicampur secara merata agar menghasilkan perekat yang baik
Tidak ada energi panas yang dibutuhkan untuk memanaskan perekat epoksi	Kekuatan tarik, panas dan <i>chemical resistance</i> tidak sebaik ketika <i>curing</i> pada temperatur tinggi
Bisa <i>curing</i> pada temperatur kamar untuk mengontrol kekuatannya	Waktu <i>curing</i> yang dibutuhkan lebih lama
Tidak ada penyusutan dan tegangan internal yang dihasilkan dari perbedaan ekspansi thermal	



Ketangguhan yang baik, kekuatan impact dan <i>peel strength</i> yang cukup	
Biaya yang relatif rendah dan bahaya yang ditimbulkan tidak signifikan	

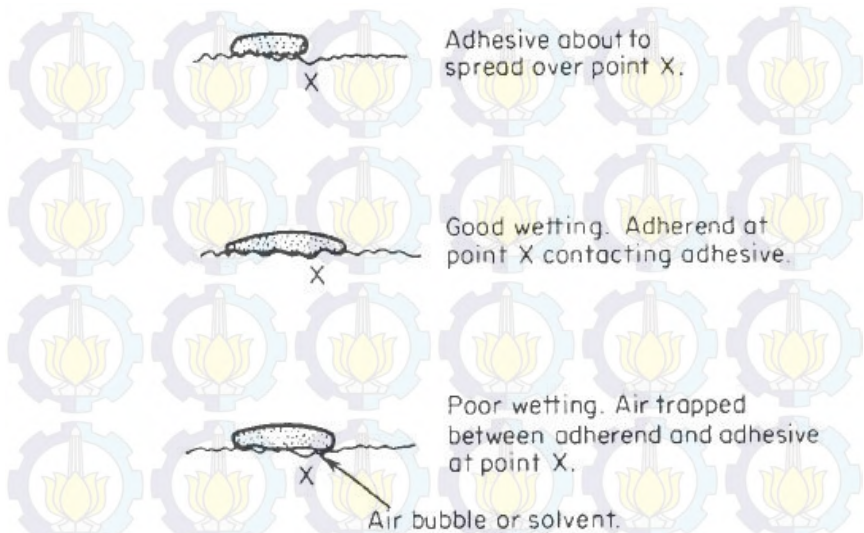
2.5 Teori Adhesi

Ada beberapa teori yang menjelaskan fenomena adhesi.

Teori yang paling umum dari adhesi yaitu :

a. Teori Adsorpsi

Teori ini menyatakan bahwa hasil adhesi berasal dari kontak antara dua material atau gaya tarik menarik antara material secara kimia dan fisika yang terjadi di *interface*. Gaya tarik menarik ini disebut sebagai gaya van der Waals (Packer, 1990). Kemudian proses pembentukan kontak secara terus menerus antara perekat dan adherend dikenal sebagai *wetting*. Ilustrasi wetting pada permukaan substrat ditunjukkan oleh Gambar 2.5



Gambar 2.5 Proses Pembasahan pada Permukaan Substrat(Petrie,2007)

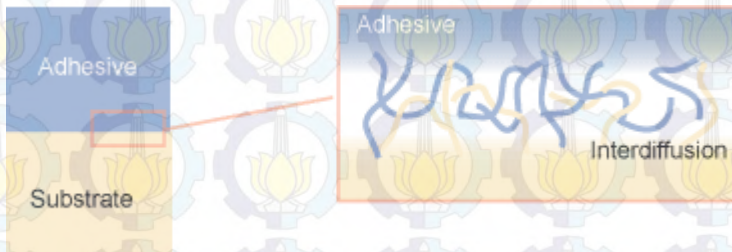
Hasil wetting (pembasahan) yang baik adalah ketika perekat mampu mengalir ke lembah-lembah dan celah-celah di permukaan substrat. Sedangkan hasil pembasahan yang tak baik adalah ketika perekat membentuk seperti jembatan diantara lembah yang dibentuk oleh celah-celah substrat (Petrie, 2007).

b. Teori Difusi

Dasar teori ini adalah bahwa adhesi muncul melalui interdifusi molekul antara perekat dan *adherend*. Teori difusi berlaku ketika kedua perekat dan *adherend* adalah polimer. Selain itu, perekat dan *adherend* harus kompatibel secara kimia dalam hal difusi dan *miscibility*



(mampu larut) (Petrie, 2007). Parameter yang mempengaruhi difusi adalah waktu kontak antar perekat & adherend, temperatur, berat molekul, dan bentuk fisik (cair atau padat). Gambar 2.6 menunjukkan adanya difusi antara perekat dan *adherend*



Gambar 2.6 Fenomena Teori Difusi Adhesi

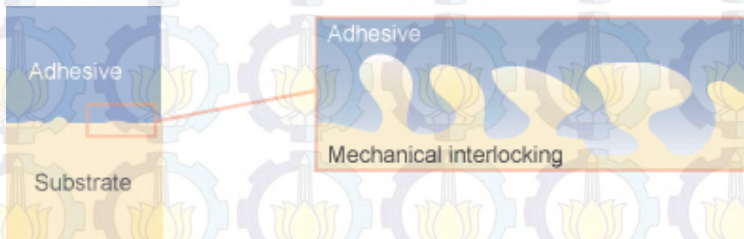
(www.specialchem4adhesives.com/resources/adhesionguide
19/02/2014)

c. Teori Mekanik

Teori adhesi mekanik menyatakan bahwa perekatan yang baik hanya terjadi ketika perekat menembus kedalam pori-pori, lubang atau celah dari permukaan substrat dan terkunci secara mekanik. Perekat tidak hanya membasahi substrat, tapi juga harus memiliki sifat reologi yang tepat untuk menembus pori-pori dan rongga-rongga dalam waktu yang cukup singkat. Permukaan *adherend* / substrat perlu memiliki kekasaran tertentu untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan perekat secara mekanik. Hal yang umum dilakukan adalah dengan melakukan pre-treatment pada permukaan (Clearfield dkk, 1991). Selain pre-treatment pada permukaan, hal lain yang dapat dilakukan adalah memperluas bidang



rekat, meningkatkan *wetting kinetics*, dan meningkatkan plastisitas perekat (Evans, 1979). Gambar 2.7 menunjukkan adanya *mechanical interlocking* antar perekat dan substrat



Gambar 2.7 Fenomena Teori Mekanik Adhesi
(www.specialchem4adhesives.com/resources/adhesionguide
de 19/02/2014)

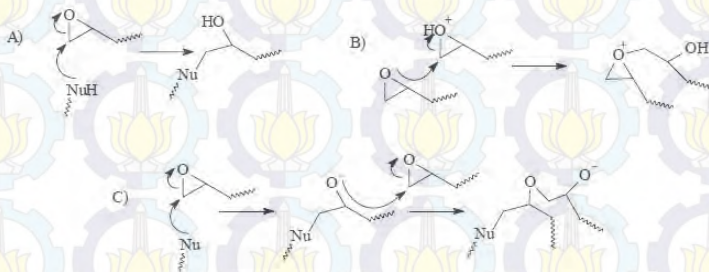
Pada saat perekat tidak mampu membasahi permukaan substrat secara sempurna (terjadi karena termodinamika energi permukaan yang tidak serasi antara perekat dan substrat atau terjadi karena tidak cukup waktu bagi perekat untuk mengeras/memadat), maka akan terjadi perekatan yang lemah, karena berkurangnya daerah kontak atau karena adanya konsentrasi tegangan dengan adanya rongga. Pada saat perekat mampu membasahi permukaan substrat dengan sempurna, proses adsorpsi akan terjadi dengan baik pada permukaan kasar maupun permukaan halus. Namun dapat terjadi perekatan yang lemah karena rendahnya energi permukaan. Tetapi hal tersebut dapat diatasi dengan melakukan perlakuan (*treatment*) pada permukaan (Packham, 2005).

2.6 Mekanisme *Curing*

Resin epoksi mampu *curing* melalui reaksi adisi atau homopolimerisasi. Selama proses *curing* epoksi, awalnya terdapat



pertumbuhan linear yang ditandai dengan kenaikan berat molekulnya. Kemudian rantai karbon epoksi mulai membentuk cabang dan *gel point* tercapai ketika semua cabang-cabangnya saling berhubungan dan cukup untuk membentuk jaringan tiga dimensi. Pada tahap akhir dari reaksi curing, sebagian besar pecahan *sol* yang tersisa bergabung ke dalam jaringan tersebut. Kemudian viskositas meningkat hingga *gel point* tercapai dan jaringan tiga dimensi menjadi tidak dapat dicairkan lagi. Selanjutnya T_g juga meningkat selama proses *curing*. Namun, ketika T_g meningkat mendekati temperatur *curing*, reaksinya menjadi lambat dan mulai menjadi pengontrolan secara difusi. Jaringan yang sebagian *cure* bisa berubah menjadi kaca dan menghasilkan fraksi larut yang tinggi. Untuk memperoleh sifat mekanik dan ketahanan korosi yang baik, maka diperlukan fraksi gel yang tinggi. Oleh karena itu, biasanya dilakukan post-cured pada temperatur diatas T_g untuk aplikasi yang membutuhkan performa mekanik maksimal. Mekanisme *curing* resin epoksi dengan reaksi adisi dan polimerisasi ditunjukkan oleh gambar 2.8



Gambar 2.8 Mekanisme *curing* resin epoksi (A) Penambahan Nucleophilic of a Hydrogen Active Nucleophile (B) Polimerisasi Kation (C) Polimerisasi Anion (Marie, 2001)

Berbagai macam kemungkinan dari proses curing lebih lanjut dapat meningkatkan fleksibilitas resin epoksi. Resin epoksi dapat *curing* dengan penambahan berbagai gugus fungsi yang



mengandung hidrogen aktif (Gambar 2.8-A) seperti amina, fenol, dan asam karboksilat atau melalui eterifikasi cincin epoksida. Selain itu, bisa juga melalui jalur kation dan anion. Kation *cure* (Gambar 2.8-B) bisa terjadi dengan penggunaan katalis *photosensitive* yang menghasilkan asam. Sedangkan anion *cure* (Gambar 2.8-C) bisa terjadi ketika resin mengalami *crosslinked* menggunakan *imidazoles*. (Marie, 2001)

Kekuatan resin yang telah curing lebih rendah dibanding logam dan ceramic, patahan brittle maupun ulet mungkin terjadi. Pada beberapa material termoplastik, proses terjadinya crack dapat dialihkan menjadi crazing. Daerah craze adalah daerah yang terjadi deformasi lokal dan menyebabkan terbentuknya microvoid. Crazing dapat meningkatkan keuletan dan ketangguhan material. Ketika resin epoksi diaplikasikan pada sebagai bahan adhesif, terdapat 2 kemungkinan failure pada adhesif tersebut. Yang pertama adalah kohesif failure yang dimana putusnya kekuatan adhesif yang disebabkan oleh rendahnya kekuatan bahan adhesif itu sendiri dimana hasil kegagalan tersebut bisa di indikasikan masih banyaknya sisa bahan adhesif yang menempel pada substrat. Sedangkan adhesi failure yaitu memiliki ciri – ciri bahan adhesif sepenuhnya lepas dari substrat, umumnya pada kegagalan jenis ini terdapat pada bahan adhesif yang memiliki kekuatan yang tinggi

2.7 Baja ASTM A36

Baja ASTM A36 secara umum dipakai pada konstruksi jembatan dan bangunan. Pada umumnya baja ASTM A36 berbentuk silinder dan pelat. Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon sekitar kurang dari 0,25%. (A. C, elik, 2005)



Tabel 2.3 Komposisi Kimia ASTM A36 (ASTM, 1997)

Product	Shapes ^A	Plates ^B					Bars			
		To ¼ [20] incl	Over ¼ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2 ½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]	To ¼ [20] incl	Over ¼ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 4 [100], incl	Over 4 [100]
Thickness, in. [mm]	All									
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	0.80-1.20	0.80-1.20	0.85-1.20	0.85-1.20	...	0.60-0.90	0.60-0.90	0.60-0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Tabel 2.4 Kekuatan Tarik ASTM A36 (ASTM, 1997)

Plates, Shapes, ^B and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58-80 [400-550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] ^C
Plates and Bars ^{D, E} :	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^B

2.8 Interaksi antara Bahan Adhesif dan Logam

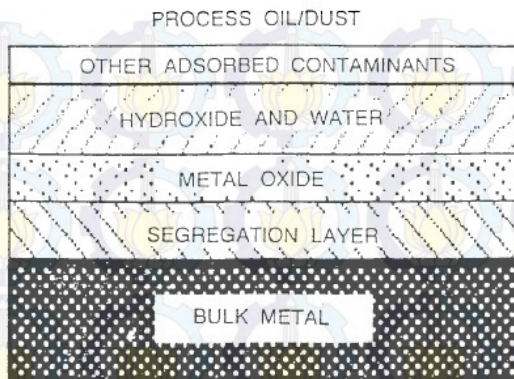
Bahan adhesif harus bisa berfungsi dengan baik pada permukaan substrat, kondisi lingkungan, kondisi substrat dimana ketiga aspek diatas menentukan baik atau tidaknya ikatan antara bahan adhesif dan adherennya. Terdapat 5 hal yang mempengaruhi ikatan permukaan pada substrat, yaitu : *strength*, *cleanliness*, *continuity*, *stability*, dan *wetting capability*.

Permukaan substrat yang buruk seperti adanya konsentrat, cat, oli, korosi dan sebagainya, harus dihilangkan karena hal tersebut dapat mengurangi kekuatan ikatan pada substrat. Hal tersebut tidak bisa dihilangkan hanya dengan sekedar membersihkan secara fisik, tetapi juga harus dibersihkan secara kimia, misalnya dengan menggunakan larutan kimia. Selain itu, permukaan substrat yang diskontinyu juga mempengaruhi kekuatan sambungan / ikatan dan dapat terjadi



konsentrasi tegangan. Diskontinyu ini juga mempengaruhi proses pembersihan permukaan substrat yang tidak merata atau tidak homogen. Stabilitas permukaan substrat juga penting baik sebelum terjadi ikatan maupun setelah terjadi ikatan, karena stabilitas permukaan dapat mempengaruhi terbentuknya lapisan batas. Lapisan batas yang tidak diinginkan ini bisa terbentuk selama preparasi permukaan dan pengaplikasian bahan adhesif. Lapisan batas ini juga bisa terbentuk setelah bahan adhesif diaplikasikan dan setelah mengalami proses *curing*. Lapisan batas ini dapat mempengaruhi kekuatan sambungan bahkan dapat menyebabkan kegagalan pada sambungan jika terbentuk di awal. Proses pembahasan permukaan substrat (*wetting*) merupakan proses yang diperlukan dalam membangun kekuatan adhesi. Ada berbagai tingkat pembasahan, tergantung dari kontak antara permukaan dengan perekat. Kontak tersebut tergantung dari kekasaran dan topologi permukaan yang juga akan mempengaruhi kekuatan ikatan. (Petrie, 2007)

Pada permukaan logam, seperti baja atau aluminium paduan, terdiri dari beberapa daerah / lapisan yang tidak memiliki batas yang jelas, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9. Dimana terdapat berbagai daerah-daerah yang memiliki konsentrasi dan kotoran yang dapat menempel pada permukaan logam. Sehingga memang perlu adanya preparasi permukaan agar dapat menciptakan kekuatan adhesi yang baik.



Gambar 2.9 Berbagai Lapisan dari Permukaan Substrat Logam (Petrie, 2007)

Perekat organik cenderung mudah membasahi permukaan logam. Pemilihan bahan perekat tidak bergantung pada jenis substrat logam, karena hampir semua permukaan logam terikat sebagai *hydrated oxides*, yang artinya setiap logam yang dilapisi dengan oksida setidaknya mampu mengikat satu lapisan air. Dengan demikian bahan adhesif yang digunakan pada material logam harus tahan air. Stabilitas oksidatif dan tahan air tergantung pada permukaan substrat serta pada bahan perekat itu sendiri. Epoksi dan fenolik yang diaplikasikan pada aluminium atau kaca, akan terdegradasi secara lambat pada temperatur tinggi jika dibandingkan ketika kontak dengan logam divalen (Zn, Cu, Fe₂, Ni, Mg). Hal itu karena logam divalen memiliki oksida yang lebih mendasar pada permukaannya, sehingga menyebabkan epoksi atau fenolik mudah terdegradasi. Pemilihan bahan perekat dari tabel sifat mekanik pada umumnya sangat sulit karena formulasi dalam satu kelas dari bahan perekat bervariasi. (Petrie, 2007) Data sifat mekanik dari beberapa bahan perekat logam ditunjukkan pada Tabel 2.5



Tabel 2.5 Sifat Mekanik dari Beberapa Bahan Adhesif (Petrie, 2007)

Adhesive	Service temp, °F		Shear strength, lb/in. ²	Peel strength	Impact strength	Creep resistance
	Max	Min				
Epoxy-amine	150	-50	3,000-5,000	Poor	Poor	Good
Epoxy-polyamide	150	-60	2,000-4,000	Medium	Good	Good
Epoxy-anhydride	300	-60	3,000-5,000	Poor	Medium	Good
Epoxy-phenolic	350	-423	3,200	Poor	Poor	Good
Epoxy-nylon	180	-423	6,500	Very good	Good	Medium
Epoxy-polysulfide	150	-100	3,000	Good	Medium	Medium
Nitrile-phenolic	300	-100	3,000	Good	Good	Good
Vinyl-phenolic	225	-60	2,000-5,000	Very good	Good	Medium
Neoprene-phenolic	200	-70	3,000	Good	Good	Good
Polyimide	600	-423	3,000	Poor	Poor	Good
Polybenzimidazole	500	-423	2,000-3,000	Poor	Poor	Good
Polyurethane	150	-423	5,000	Good	Good	Good
Acrylate acid diester	200	-60	2,000-4,000	Poor	Medium	Good
Cyanoacrylate	150	-60	2,000	Poor	Poor	Good
Phenoxy	180	-70	2,500	Medium	Good	Good
Thermosetting acrylic	250	-60	3,000-4,000	Poor	Poor	Good

2.9 Kajian Penelitian Sebelumnya

Telah banyak penelitian yang meneliti tentang pembuatan bahan adhesif berbasis polimer seperti epoksi. Untuk menghasilkan bahan adhesif yang baik, maka diperlukan sifat mekanik yang baik pula seperti kekuatan adhesif, kekuatan tarik dan stabilitas thermal. Berikut ini beberapa penelitian yang meneliti tentang epoksi sebagai bahan adhesif / perekat :

2.9.1 Resin Epoksi dengan Penambahan Serbuk Nano Al_2O_3

Pada penelitian ini resin epoksi yang digunakan adalah resin (epoksi dan *hardener*) yang berasal dari Kraft-Mix Henkel Adhesives Ltd. Partikel nano Al_2O_3 berukuran 80 nm ditambahkan kedalam resin epoksi dengan metode pencampuran secara mekanik. Rasio pencampuran epoksi dan *hardener* adalah



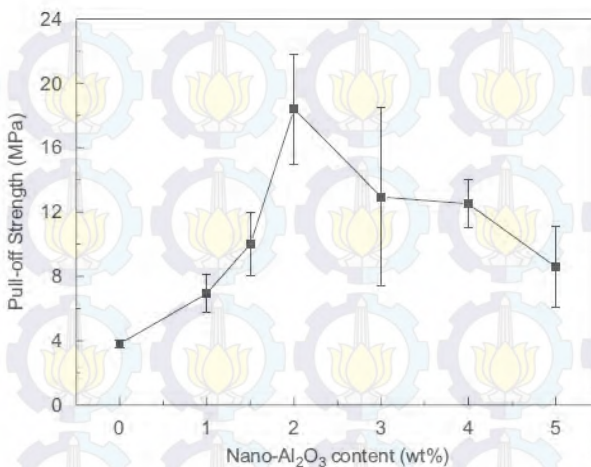
Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

1:1 yang kemudian ditambahkan serbuk nano Al_2O_3 sebesar 2%. Substrat yang digunakan adalah baja karbon rendah (0.15%C, 0.56%Mn, 0.015%S, 0.011%P) berbentuk silinder dengan ukuran $D=20$ mm dan berbentuk lembaran berukuran 34 mm x 34 mm x 1,7 mm.

Pengujian yang dilakukan adalah uji tarik dengan standard ISO 4624 dan uji SEM. Sebelum melakukan pengujian, dilakukan preparasi spesimen pada permukaan substrat yakni dengan *grinding* yang kemudian dilanjutkan dengan *polishing*. Hasil pengujian tarik ditunjukkan pada Tabel 2.6 dan Gambar 2.10

Tabel 2.6 Hasil Uji Tarik dari Perbedaan Penambahan Al_2O_3 dan *Surface Treatments*

Surface roughness	0% nano- Al_2O_3 (Mpa)	2% nano- Al_2O_3 (Mpa)
60#	3.6	7.8
150#	3.8	18.4
Polished	3.0	6.3



Gambar 2.10 Pengaruh Penambahan Al_2O_3 terhadap Kekuatan Adhesi Baja Karbon Rendah (Zhai, 2007)

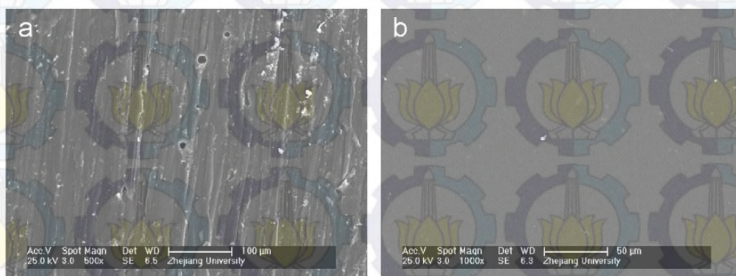
Kekuatan adhesi dari hasil pengujian tarik yang telah dilakukan dengan perbedaan perlakuan permukaan substrat dan penambahan Al_2O_3 ditunjukkan pada Tabel 2.6. Dari tabel tersebut dikatakan bahwa permukaan substrat yang diampas dengan kertas amplas grade 150 memiliki kekuatan yang lebih tinggi baik ketika ditambahkan Al_2O_3 maupun tidak. Sedangkan pada spesimen dengan perlakuan pemolesan memiliki kekuatan yang lebih rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa kekasaran permukaan sangat mempengaruhi daya ikat adhesif terhadap substrat. Kekasaran permukaan meningkatkan kekuatan adhesi karena memiliki interaksi area yang lebih besar. Adanya nano Al_2O_3 juga mempengaruhi interaksi antara adhesif dengan permukaan substrat. Ketika permukaan halus, interaksi area akan berkurang sehingga kekuatan adhesi pun juga tidak sebaik pada permukaan kasar.

Pada Gambar 2.10 menunjukkan kekuatan adhesi dari modifikasi epoksi dengan perbedaan persentase nano Al_2O_3 .



Semua nilai kekuatan adhesi yang telah dimodifikasi dengan penambahan nano Al_2O_3 memiliki kekuatan yang lebih rendah dibandingkan dengan tanpa penambahan nano Al_2O_3 yaitu 3,8 MPa. Kekuatan adhesi tertinggi didapat ketika diberi penambahan nano Al_2O_3 sebesar 2% yaitu 18,4 MPa. Tetapi seiring dengan penambahan nano Al_2O_3 , kemampuan pembasahan pada permukaan menjadi berkurang disebabkan karena viskositas meningkat yang selanjutnya akan mempengaruhi kekuatan adhesi.

Hasil pengujian SEM dari permukaan epoksi dengan penambahan 2% nano Al_2O_3 yang telah dikelupas dari substrat dengan 2 perbedaan kekasaran telah diidentifikasi. Pada Gambar 2.11-a Terdapat beberapa lubang pada permukaan yang jauh lebih kasar. Lubang-lubang ini adalah karena terperangkapnya udara pada lembah permukaan epoksi. Ketika interaksi area menurun, kekuatan adhesi pada sambungan baja yang diamplas pada grade 60 hampir sama dengan kekuatan adhesi pada sambungan baja yang dipoles. Jika lubang-lubang yang terbentuk tadi dihilangkan, maka sambungan baja yang diamplas pada grade 60 mungkin akan meningkat.



Gambar 2.11 Hasil fotografi SEM dari Permukaan Epoksi dengan penambahan nano Al_2O_3 yang telah terkelupas dari substrat baja (a) amplas grade 60 (b) pemolesan (Zhai, 2007)



Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa penyebaran nano Al_2O_3 dalam perekat epoksi dapat mempengaruhi kekuatan adhesi. Kedua jenis kekasaran permukaan dan penambahan nano Al_2O_3 dapat meningkatkan kekuatan adhesi dari perekat epoksi pada baja. Kekuatan adhesi tertinggi sebesar 18,4 MPa yaitu pada sampel epoksi yang diberi penambahan 2% nano Al_2O_3 dan perlakuan permukaan pada substrat yang diampelas menggunakan grade 150 (Zhai, 2007).

2.9.2 Resin Epoksi dengan Penambahan Lignin

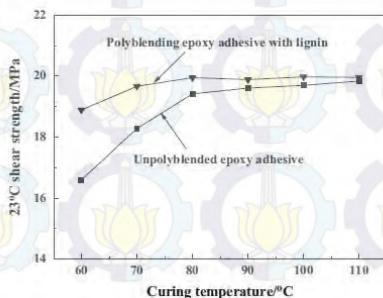
Pada penelitian ini resin epoksi yang digunakan adalah resin epoksi *bisphenol A* yang berasal dari Wuxi Resin Factory of Bluestar New Chemical Material. Sedangkan lignin berasal dari jagung jerami dengan *bulk density* 0,6 g/cm³ dan mengandung karboksil 2,12%. Preparasi sampel yaitu pencampuran resin epoksi/poliamida dengan rasio 100:70 sedangkan untuk *polyblending* epoksi yakni resin epoksi/poliamida dan penambahan lignin dengan rasio 100:70:8,5. Sebelum dicampurkan, lignin dikeringkan pada temperatur 50°C selama 24 jam. Untuk preparasi substrat, yaitu dengan menggunakan aluminium yang diberi perlakuan pada permukaannya dengan menggunakan *sulfuric-acid-sodium dichromate solution* pada temperatur 60°C selama 15 menit. Temperatur *curing* pada temperatur kamar. Pengujian mekanik yang dilakukan adalah *single-lap shear joint* dengan ukuran spesimen 101,6 mm x 25,4 mm x 1,62 mm, sedangkan untuk uji karakterisasi adalah uji FT-IR. Hasil pengujian mekanik ditunjukkan oleh Tabel 2.7 dan Gambar 2. 12



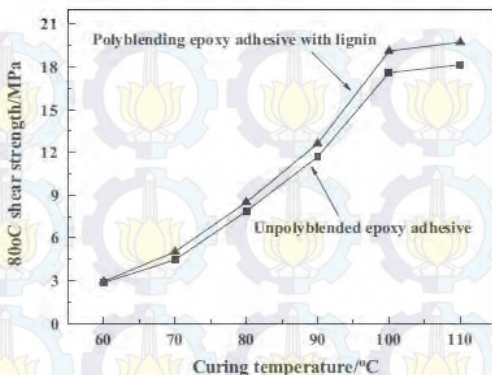
Tabel 2.7 Kekuatan Geser pada Temperatur 23°C dan 80°C dari Resin Epoksi

	Shear strength (MPa, 23 °C)	Shear strength (MPa, 80 °C)
Epoxy resin adhesive	15.32	2.03
Polyblending epoxy adhesive	18.76	2.19

Pengujian diatas dilakukan untuk mengetahui performa adhesif epoksi dan *polyblending* epoksi pada temperatur kamar dan temperatur tinggi. Dari data Tabel 2.7 Terlihat bahwa pada temperatur kamar menghasilkan kekuatan geser lebih tinggi, dan penambahan lignin memberikan pengaruh terhadap kekuatan geser epoksi. Hal ini mengindikasikan bahwa lignin dapat membantu mendorong reaksi *curing*. Kondisi tersebut juga bisa dilihat pada Gambar 2.12 (a) dan (b) yang menjelaskan tingkat kenaikan kekuatan geser yang berbeda. Kekuatan geser meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur *curing*. *Polyblending* epoksi menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan resin epoksi tanpa penambahan lignin. Lignin yang telah tercampur oleh epoksi akan bereaksi untuk mengaktifkan gugus fungsi seperti gugus karboksil dan hidroksil, sehingga dapat meningkatkan proses *cross-linking* yang dapat mempengaruhi sifat mekanik dari enoksi itu sendiri

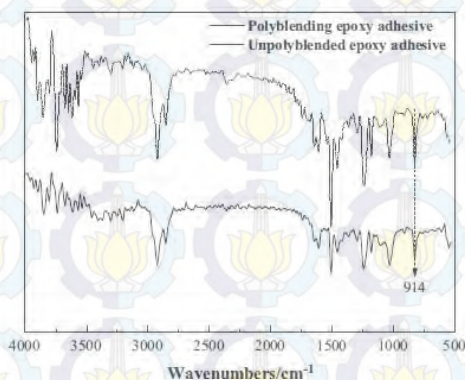


(a)

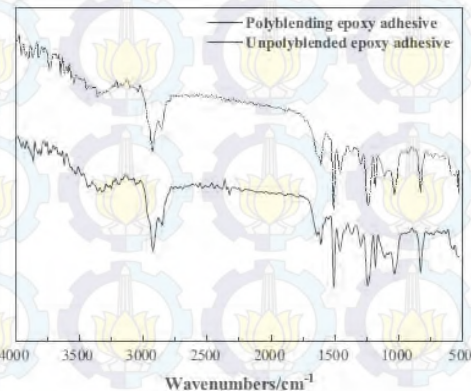


(b)

Gambar 2.12 (a) Kekuatan Geser 23°C (b) Kekuatan Geser 80°C dari dua formulasi epoksi adhesif *cure* pada berbagai temperatur (Kong dkk, 2013)



(a)



(b)

Gambar 2.13 Hasil Uji FTIR dari Dua Jenis Resin Epoksi pada (a) Temperatur kamar (b) Temperatur 100°C (Kong dkk, 2013)

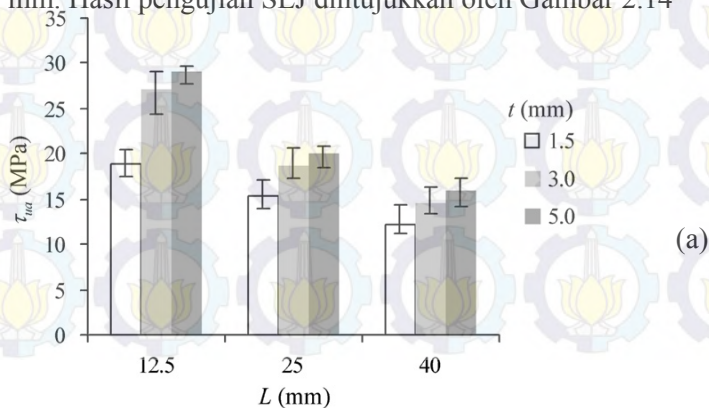
Hasil uji FTIR untuk bahan adhesif epoksi dan *polyblending* epoksi dengan lignin pada temperatur kamar ditunjukkan pada gambar 2.13-a. Fungsi dari analisis spektrum FTIR adalah untuk menganalisis perubahan struktur resin epoksi selama proses *curing*, terutama untuk mengamati terbentuknya gugus fungsi baru. Pada Gambar 2.13a terlihat bahwa puncak penyerapan terjadi pada bilangan gelombang 914 cm^{-1} , *unpolyblended* epoksi menunjukkan intensitas puncak yang lebih kuat daripada *polyblended* epoksi, hal itu menandakan adanya penyerapan getaran pada kedua resin epoksi tersebut. Sedangkan pada gambar 2.13-b terlihat bahwa tidak ada penyerapan getaran yang meregang pada gelombang 914 cm^{-1} baik untuk *unpolyblended* epoksi maupun *polyblended* epoksi. Itu artinya kedua jenis resin tersebut telah mengalami *cure* secara keseluruhan ketika dipanaskan pada temperatur 100°C selama 4 jam.

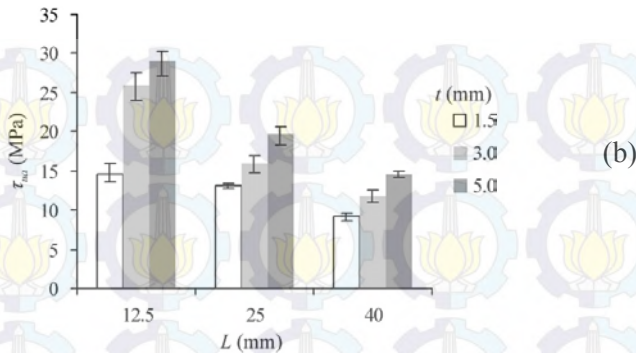


Kesimpulan dari penelitian ini adalah modifikasi resin adhesif epoksi dapat dilakukan dengan penambahan lignin yang berasal dari jagung jerami. Temperatur *curing* epoksi sangat mempengaruhi performa dari epoksi itu sendiri. Reaksi *curing* untuk resin epoksi/poliamida tanpa penambahan lignin dibawah temperatur kamar kurang sempurna. Lignin dapat mendukung reaksi *curing* pada resin epoksi karena dapat meningkatkan derajat *curing* (Kong dkk, 2013)

2.9.3 Adhesif Epoksi yang diaplikasikan pada Sambungan Stainless Steel

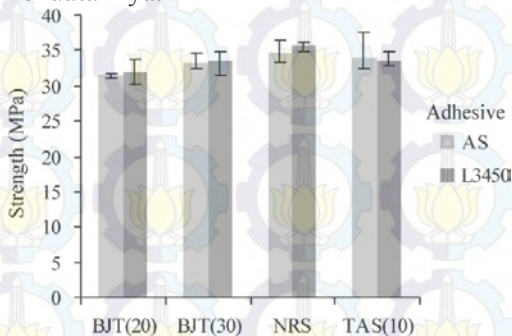
Pada penelitian ini menggunakan dua jenis resin epoksi yaitu Araldite Standard (AS) dari Ciba dengan proses *curing* pada temperatur 80°C selama 3 jam, dan Epoksi L3450 dari Loctite dengan proses *curing* pada temperatur kamar. Substrat yang dipakai adalah Stainless Steel AISI 304 hasil pengerolan. Preparasi substrat yakni dengan mengamplas permukaan substrat menggunakan kertas amplas grade 220, kemudian membersihkannya dengan aseton. Pengujian mekanik yang dilakukan ada 4 yaitu *single-lap shear test*, *napkin ring shear test*, *butt joint tensile test*, dan *thick adherend shear test*. Dimensi spesimen SLJ yaitu $L = 12,5 ; 25 ; 40$ mm dan $t = 1,5 ; 3,0 ; 5,0$ mm. Hasil pengujian SLJ ditunjukkan oleh Gambar 2.14





Gambar 2.14 Hasil Pengujian *Single-Lap Shear Test* (a) Epoksi jenis AS (b) Epoksi jenis L3450 (Morais dkk, 2007)

Berdasarkan Gambar 2.14(a)-(b) dapat dilihat dari kedua jenis epoksi diatas memiliki performa yang tidak jauh berbeda. Ukuran dan dimensi spesimen mempengaruhi sifat mekaniknya. Nilai kekuatannya menurun seiring dengan bertambah panjangnya spesimen, hal itu berbanding terbalik dengan tingkat ketebalan spesimen. Semakin tebal spesimen maka semakin tinggi pula nilai kekuatannya.



Gambar 2.15 Hasil Pengujian dari BJT, NRS, dan TAS (Morais dkk, 2007)

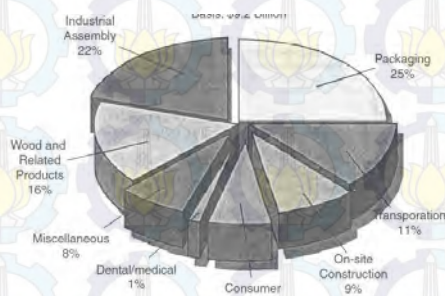


Gambar 2.15 menunjukkan hasil rata-rata dari semua pengujian yang telah dilakukan. Dari hasil pengujian diatas, kekuatan yang dihasilkan tidak ada perbedaan yang signifikan. Walaupun bahan adhesif sama-sama berasal dari resin epoksi, tetapi formulasi dari kedua jenis resin tersebut mungkin berbeda, sehingga mempengaruhi sifat mekaniknya juga. Selain itu, bahan adhesif jenis AS memiliki kekuatan yang lebih rendah dibanding jenis L3450. Hal ini mengindikasikan bahwa reaksi *curing* jenis AS kurang sempurna.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah kekuatan yang dihasilkan dari pengujian SLJ dan TAS menurun seiring dengan bertambah panjangnya spesimen, meskipun beban kegagalan meningkat. Di sisi lain, ketebalan substrat pada pengujian SLJ mampu meningkatkan sifat mekanik dari kedua jenis resin epoksi (Morais dkk, 2007).

2.10 Aplikasi Epoksi sebagai Bahan Adhesif

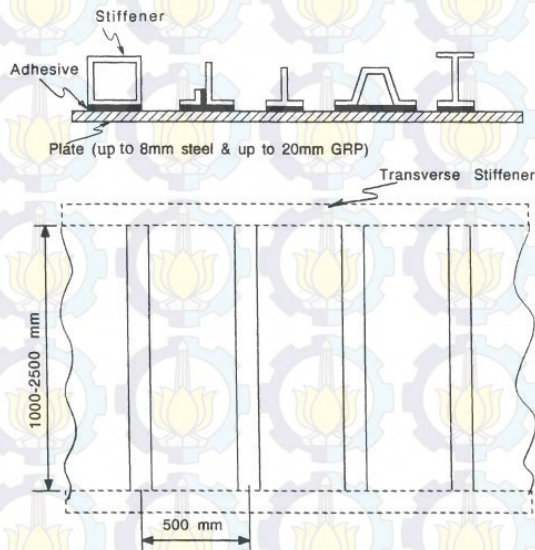
Resin epoksi merupakan salah satu material polimer termoset yang terpenting karena banyak digunakan sebagai *coating*, matriks dalam komposit, bahan perekat dan lain-lain. Penggunaan bahan adhesif atau perekat di berbagai bidang ditunjukkan oleh Gambar 2.18



Gambar 2.16 Penggunaan Bahan Adhesif di Berbagai Bidang (Petrie, 2007)



Salah satu penggunaan bahan perekat adalah pada industri kapal laut. Perekat epoksi modern menawarkan beberapa keuntungan secara teknik maupun ekonomi dalam sistem lepas pantai dan konstruksi kapal, khususnya pada penghubung *grillage* antara *plates* dan *stiffeners*. Gambar 2.19 menunjukkan hubungan antara *stiffeners* baja dan baja atau komposit polimer berbentuk pelat. Perekat juga menawarkan potensi yang cukup besar dalam perbaikan dan lampiran-lampiran kecil pada kapal & struktur lepas pantai. Seperti pada pengelasan, ikatan adhesif memiliki desain yang khusus dan kebutuhan material agar perekat yang diaplikasikan bisa bekerja dengan optimal (Hashim, 1998).



Gambar 2.17 Struktur Desain Ikatan Adhesif pada *Stiffener* dan Plate (Hashim, 1998)

Keuntungan utama dari ikatan adhesif untuk aplikasi baja adalah

1. Tidak adanya distorsi termal yang biasa timbul pada proses pengelasan
2. Meningkatkan kekuatan lelah, terutama dalam kondisi pembebanan yang rendah dan secara jangka panjang



3. Kemampuan untuk membuat sambungan yang kompleks seperti dalam struktur sandwich
4. Mereduksi korosi *pitting* karena tidak adanya cacat las dan bisa bertindak sebagai sealant dalam sebuah sambungan, sehingga meminimalkan korosi *crevice*.

Selain memiliki sisi keuntungan, ikatan adhesif juga memiliki beberapa kerugian, seperti :

1. Proses pengondisian permukaan memerlukan waktu yang cukup agar menghasilkan sambungan yang kuat dan tahan lama
2. Sangat sulit untuk mengkombinasikan sifat *impact resistance* dan *high temperature resistance* dalam single adhesif.
3. Daya tahan secara jangka panjang dalam kondisi basah/lembab tidak dapat dipastikan karena kurangnya data-data yang menjelaskan tentang kondisi tersebut
4. Sensitif terhadap temperatur tinggi ketika dibandingkan dengan logam

Adapun properti yang dibutuhkan oleh bahan adhesif ketika diaplikasikan pada konstruksi kapal atau aplikasi lainnya, yaitu :

1. Ketahanan dalam Lingkungan Basah
Mekanisme utama dalam mereduksi kekuatan ikatan adhesif pada sambungan baja adalah lingkungan air atau basah yang menyebabkan degradasi kekuatan perekat karena *plastisisation* dan korosi pada substrat, serta terganggunya posisi adhesif pada permukaan substrat. Untuk itu perlu adanya pemilihan bahan adhesif secara tepat, seperti misalnya bahan adhesif / perekat yang memiliki ketahanan air yang bagus sehingga mampu meminimalisir penurunan kekuatan pada perekat. Selain itu, perlindungan terhadap baja juga harus diperhatikan agar tidak terjadi oksidasi atau semacamnya sehingga



tidak mengganggu kinerja dari ikatan dan lekatan bahan perekat terhadap baja itu sendiri.

2. Ketahanan dalam Temperatur Tinggi

Properti yang juga harus dimiliki oleh ikatan adhesif adalah tahan terhadap temperatur tinggi ketika dikomparasikan dengan logam. Struktur ikatan adhesif mungkin akan mengalami pengoperasian pada temperatur tinggi, seperti terkena pancaran sinar matahari secara kontinyu atau pada kondisi terkena api secara disengaja. Sekarang ini terdapat beberapa produk dari bahan perekat yang tahan terhadap temperatur tinggi seperti modifikasi epoksi, *bismaleimide* dan perekat berbasis *cyanate*. Biasanya perekat-perekat tersebut diaplikasikan pada industri pesawat terbang yang mana temperatur pengoperasiannya antara 150-300°C baik untuk jangka pendek maupun jangka panjang.

3. Kekuatan Geser

Gaya geser yang besar pada bahan adhesif akan meningkatkan tekanan dan defleksi pada ikatan adhesif di substrat baja. Hal ini akan mempengaruhi kekuatan perekat tersebut dalam mengikat substrat/adherennya. Oleh karena itu bahan perekat bisa dikatakan memiliki performa yang baik jika memiliki kekuatan geser yang tinggi, karena dengan memiliki kekuatan geser yang tinggi itu artinya daya lekat antara perekat dan substratnya juga baik (Hashim, 1998).



Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

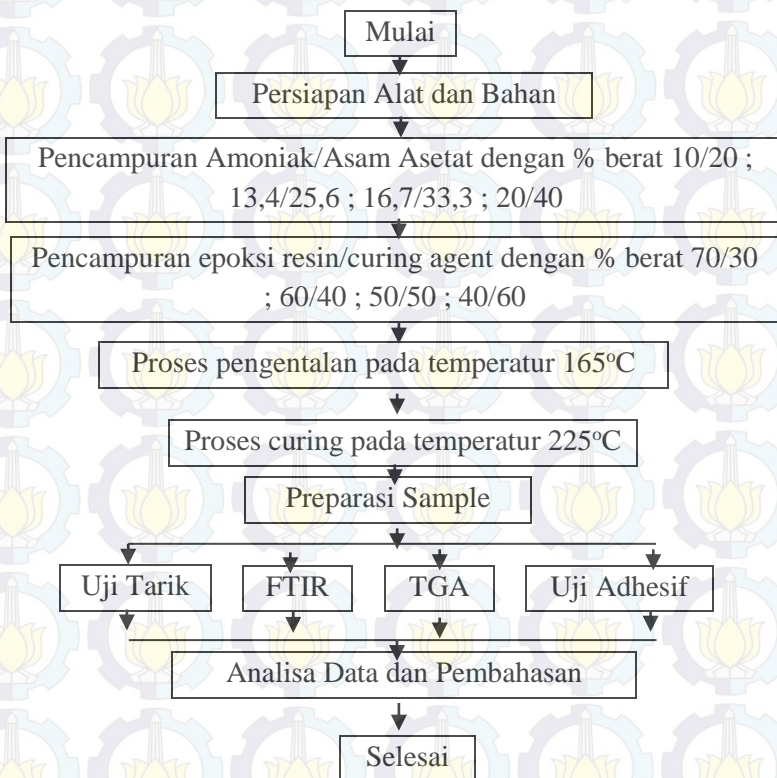
(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1. Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan resin epoksi sebagai bahan perekat dengan amoniak/asam asetat sebagai *curing agent*.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Epoksi jenis *Diglycidyl ether of bisphenol A* oleh Eposchon didapatkan dari distributor PT. Justus Kimia, Amoniak dari PT. Brataco, dan Asam Asetat ditunjukkan pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Epoksi Resin, Amoniak, dan Asam Asetat

3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Wadah Plastik
Digunakan untuk mencampurkan epoksi dengan ditunjukkan pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Wadah



2. Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk menghitung massa spesimen yang ditunjukkan pada gambar 3.4



Gambar 3.4 Timbangan Digital

3. Pengaduk

Digunakan untuk mengaduk campuran epoksi/PAA dan *mepoxe* yang ditunjukkan pada gambar 3.5

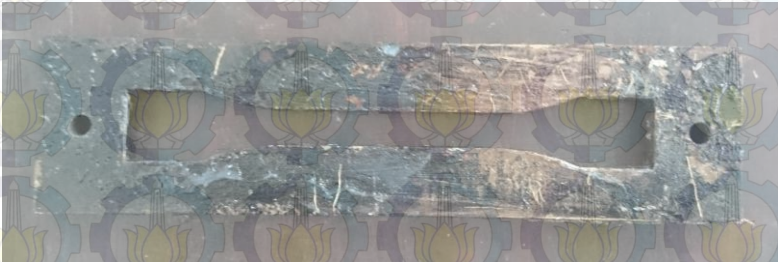


Gambar 3.5 Pengaduk



4. Cetakan

Cetakan ini digunakan untuk mencetak spesimen uji tarik yang ditunjukkan pada gambar 3.6



Gambar 3.6 Cetakan

5. Aluminium Foil

Digunakan sebagai pembungkus cetakan agar mudah dalam mengambil hasil cetakan yang ditunjukkan pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Aluminium Foil



6. Mesin Uji FTIR

Digunakan untuk mengetahui gugus fungsi dari suatu sampel, ditunjukkan pada gambar 3.8



Gambar 3.8 Mesin Uji FTIR

7. Mesin Uji Tarik

Digunakan untuk mengetahui sifat mekanik dari sampel, ditunjukkan pada gambar 3.9



Gambar 3.9 Mesin Uji Tarik



8. Mesin Uji TGA

Digunakan untuk mengetahui pengurangan massa pada perubahan temperatur dari sampel, ditunjukkan pada gambar 3.10



Gambar 3.10 Mesin TGA

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi fraksi berat epoksi terhadap curing agent Amoniak/Asam Asetat yaitu 70/10/20 ; 60/13,4/26,6; 50/16,7/33,3 ; 40/20/40 wt%. Dan variasi fraksi berat curing agent Amoniak/Asam Asetat yaitu 20/20 ; 26,6/13,4 wt%

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Preparasi Sampel

Bahan polimer yang digunakan pada penelitian ini adalah epoksi jenis *Diglycidyl ether of bisphenol A*. Bahan ini kemudian dicampurkan dengan curing agent Amoniak/Asam Asetat dengan variasi 70/10/20 ; 60/13,4/26,6; 50/16,7/33,3 ; 40/20/40 wt% wt%. Adapun mekanisme preparasi bahan adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan bahan-bahan yang akan dicampur yakni epoksi, amoniak, dan asam asetat



2. Bahan ditimbang sesuai dengan fraksi massa yang sudah ditentukan.
3. Bahan yang telah ditimbang lalu di-mixing dengan metoda manual stirrer sendok spatula.
4. Hasil mixing dituangkan pada cetakan aluminium.
5. Proses pengentalan pada temperatur 165°C selama 1 jam
6. Proses curing pada temperatur 225°C selama 3 jam
7. Pengujian sampel yaitu uji tarik, uji adhesif, FTIR, SEM, dan TGA

3.4.2 Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan resin epoksi jenis *Diglycidyl ether of bisphenol A* sebagai bahan dasar pembuatan adhesif. Proses preparasi bahan adhesif diawali dengan pencampuran Amoniak dan Asam Asetat sebagai curing agent dengan variasi fraksi berat 10/20 ; 13,4/26,6 ; 16,7/33,3 ; 20/40 wt%. Kemudian pencampuran epoksi dengan curing agent dengan variasi fraksi berat 70/30 ; 60/40 ; 50/50 ; 40/60 wt%, sehingga menghasilkan empat formulasi yang berbeda. Dari empat formulasi itu kemudian dilakukan beberapa pengujian diantaranya uji karakterisasi material seperti uji FT-IR, TGA serta dilakukan pengujian mekanik seperti uji tarik dan uji adhesif. Lalu untuk variasi perbandingan amoniak/asam asetat sebagai curing agent dengan fraksi berat 20/20 ; 26,6/13,4. Kemudian curing agent dicampurkan pada epoksi dengan fraksi berat 60 wt%. Dari dua formulasi tersebut dilakukan pengujian Tarik, FTIR, dan TGA. Rancangan penelitian ditunjukkan oleh tabel 3.1



Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

Polimer Epoksi (wt %)	Amoniak (wt %)	Asam Asetat (wt %)	Sampel	FTIR	TGA	Uji Tarik	Uji Adhesif
70	10	20	1				
60	13,4	26,6	2				
50	16,7	33,3	3				
40	20	40	4				
60	20	20	5				
60	26,6	13,4	6				

3.5 Pengujian

3.5.1 Pengujian FTIR

Pengujian *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FT-IR) menggunakan alat *Thermo Scientific Nicolet iS10* di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS dengan sampel berbentuk padatan. FTIR adalah alat yang digunakan untuk mengetahui gugus fungsi dari suatu sampel. Pada penelitian ini, pengujian FT-IR digunakan untuk mengetahui gugus fungsi dari epoksi dan amoniak/asam asetat sebelum dicampurkan dan setelah menjadi resin epoksi. Dasar pemikiran dari Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red adalah dari persamaan gelombang yang dirumuskan oleh Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) seorang ahli matematika dari Perancis. Dari deret Fourier tersebut intensitas gelombang dapat digambarkan sebagai daerah waktu atau daerah frekwensi. Perubahan gambaran intensitas gelombang radiasi elektromagnetik dari daerah waktu ke daerah frekwensi atau sebaliknya disebut Transformasi Fourier (Fourier Transform). Selanjutnya pada sistim optik peralatan instrumen Fourier



Transform Infra Red dipakai dasar daerah waktu yang non dispersif. Sebagai contoh aplikasi pemakaian gelombang radiasi elektromagnetik yang berdasarkan daerah waktu adalah interferometer yang dikemukakan oleh Albert Abraham Michelson (Jerman, 1831).

Cara kerja mesin FTIR secara umum adalah mula-mula zat yang akan diukur diidentifikasi, berupa atom atau molekul. Sinar infra merah yang berperan sebagai sumber sinar dibagi menjadi dua berkas, satu dilewatkan melalui sampel dan yang lain melalui pembanding. Kemudian secara berturut-turut melewati chopper. Setelah melalui prisma atau grating, berkas akan jatuh pada detektor dan diubah menjadi sinyal listrik yang kemudian direkam oleh rekorder.

3.5.2 Pengujian TGA

Pengujian *Thermogravimetric Analysis* (TGA) menggunakan alat *Mettler Toledo* dengan *Gas Controller GC 200* di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. TGA adalah untuk mengetahui sifat berat bahan terhadap perubahan panas yang berkaitan dengan perubahan temperatur pemanasan. TGA dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan massa sample (*weight loss*). Analisa tersebut bergantung pada tiga pengukuran yaitu berat, temperatur, dan perubahan temperatur

Pelaksanaan pengujian termal dilakukan dengan cara pemanasan sampel dengan berat awal 20 mg, dipanaskan dalam *crucible* keramik dengan kondisi atmosfir udara. Hasil uji dalam bentuk grafik hubungan antara temperatur-waktu-% penurunan berat. TGA dikenal sebagai metode dengan resolusi tinggi, sehingga sering digunakan untuk memperoleh akurasi yang lebih besar di daerah puncak kurva. Dalam metode ini, kenaikan suhu diperlambat sebagai meningkatkan berat-susut (*weight-loss*). Hal ini dilakukan agar didapat suhu yang tepat di mana puncak terjadi dan dapat diidentifikasi lebih akurat.

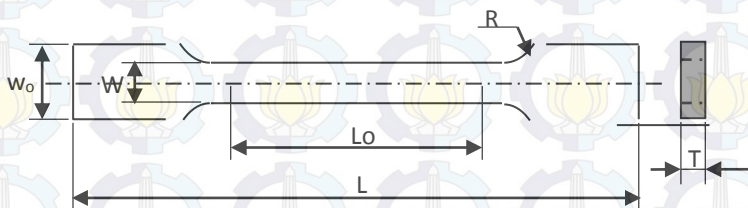


Preparasi sample dari pengujian TGA adalah sebagai berikut:

1. Sampel dalam bentuk serbuk, padatan atau cairan. Sampel dalam bentuk cairan diusahakan yang tidak bersifat volatil
2. Sampel maksimal sebesar 20 mg.
3. Pan uji dibiarkan terbuka
4. Setiap sampel dengan metode baru, perlu dibuat blank.

3.5.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik menggunakan alat Instron UTM di Laboratorium Farmasi Universitas Airlangga. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik material kuat tarik yang mengacu pada ASTM D 638M. Kekuatan tarik menunjukkan kemampuan untuk menerima beban atau tegangan tanpa menyebabkan komposit menjadi rusak atau putus. Ini dinyatakan dengan tegangan maksimal sebelum putus yaitu *ultimate tensile strength (UTS)*.



Gambar 3.11 Spesimen Uji Tarik (ASTM D638M)

Dimensi Spesimen

w_0 = 20 mm.

w = 10 mm.

R = 60 mm.

L_0 = 60 mm.

L_t = 150 mm.

T = 8 mm

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan *Tensile Strength*, *Elongation*, dan *Tensile Modulus* dari komposit epoksi



tersebut. Setelah pengujian dilakukan akan didapatkan Kurva Tegangan-Regangan. Ditunjukkan pada persamaan 3.1, 3.2, dan 3.3

Tensile Strength

$$\sigma_{ultimate} = \frac{P_{ultimate}}{A} \dots\dots\dots(3.1)$$

Elongation

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots(3.2)$$

Tensile Modulus

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ (pada daerah elastis)} \dots\dots(3.3)$$

dimana :

P = beban yang diberikan pada spesimen

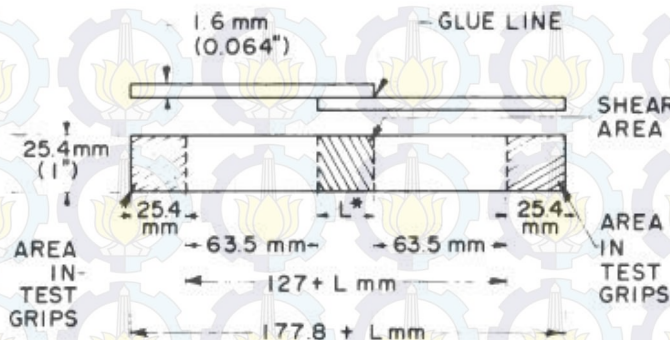
A = luas penampang spesimen

ΔL = pertambahan panjang

L_0 = panjang awal spesimen

3.5.4 Uji Adhesif

Pengujian adhesif yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian *single lap-shear* atau biasa disebut *tensile-shear test*. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur kekuatan geser dari bahan adhesif/perekat. Kekuatan geser adalah tegangan yang menyebabkan komponen rusak/patah akibat beban geser. Pengujian ini merupakan pengujian bahan adhesif yang paling umum karena spesimen pada pengujian ini mudah untuk dibuat dan sederhana, serta relatif murah. Metode pengujian *single-lap shear* mengacu pada ASTM D 1002 yang ditunjukkan oleh Gambar 3.15



Gambar 3.12 Spesimen Uji *Lap-Shear* (ASTM D1002)

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan *Shear Strength* dari perekat epoksi tersebut. Setelah pengujian dilakukan akan didapatkan Kurva Tegangan-Regangan, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$L = F_{ty} t / \tau \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

dimana : L = panjang overlap
t = tebal spesimen (metal)
F_{ty} = yield point of metal

τ = Kekuatan Geser



Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi





Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi





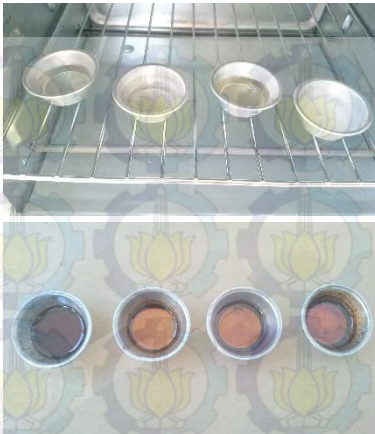
BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perilaku Curing Epoksi

4.1.1 Curing Epoksi dengan Penambahan Amoniak dan Asam Asetat

Epoksi yang digunakan adalah tipe diglisidil bisfenol-A (DGEBA). Epoksi dipreparasi dengan menambahkan Amoniak dan Asam Asetat sebagai *curing agent* berdasarkan rasio berat. Amoniak dan Asam Asetat sebagai *curing agent* Epoksi, perbandingan Amoniak dan Asam Asetat berdasarkan berat yaitu (1:2). Perbandingan campuran antara Epoksi dengan *curing agent* dengan rasio berat 30, 40, 50, dan 60 % berat. Proses pencampuran dimulai dengan epoksi dituang pada cawan lalu ditambahkan campuran Amoniak/Asam Asetat kemudian diaduk hingga homogen. Campuran Epoksi/Amoniak/Asam Asetat berupa liquid, oleh karena itu perlu proses pengentalan supaya mempermudah pengaplikasian epoksi pada benda kerja. Kemudian campuran tersebut dimasukkan kedalam oven selama 1 jam pada temperatur 165°C untuk proses pengentalan. Setelah itu campuran dituang ke dalam cetakan yang berbentuk spesimen pengujian tarik. Proses curing dilanjutkan dengan memasukkan cetakan yang berisi campuran Epoksi/Amoniak/Asam Asetat kedalam oven pada temperatur 225°C dengan waktu penahanan hingga diperoleh spesimen yang curing dengan sempurna (kering sempurna). Waktu tahan diperoleh selama 3jam. Gambar 4.1 menunjukkan spesimen Epoksi/Amoniak/Asam Asetat setelah proses pencampuran, pengentalan selama 1 jam pada temperatur 165 °C, dan setelah proses curing dengan sempurna pada temperatur 225°C selama 3 jam.

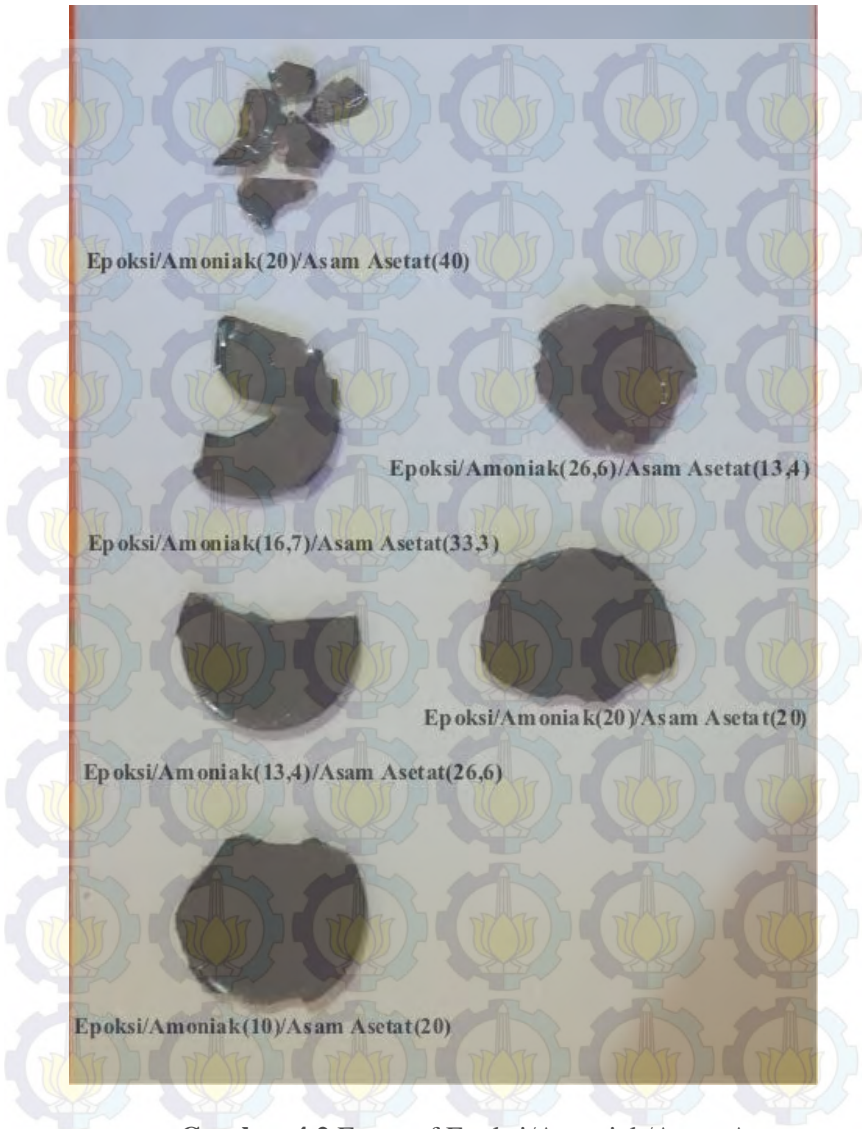


(a)

(b)

Gambar 4.1. Fotograf Epoksi/Amoniak/Asam Asetat
(a) Proses Pengentalan (b) Proses Curing

Studi ini juga melakukan pengamatan pada Epoksi dengan variasi perbandingan *curing agent* (Amoniak/Asam Asetat) terhadap epoksi DGEBA. Tabel 4.1 menunjukkan karakteristik variasi *curing agent* terhadap epoksi DGEBA dan Tabel 4.2 menunjukkan karakteristik formulasi spesimen epoksi DGEBA terhadap *curing agent*. Epoksi dipreparasi dengan variasi perbandingan terhadap *curing agent* (Amoniak/Asam Asetat) dengan rasio berat 30, 40, 50, dan 60 % berat. Untuk variasi perbandingan *curing agent* dengan epoksi BPA, yaitu perbandingan Amonia dengan Asam Asetat 1:1 ; 1:2 ; dan 2:1 dengan epoksi DGEBA seberat 60% berat total campuran. Proses pengentalan dilakukan pada temperatur 165°C selama 1 jam dan proses curing dilakukan pada temperatur 225 °C selama 3 jam. Pada Gambar 4.2 memperlihatkan bentuk visual spesimen setelah curing sempurna.



Gambar 4.2 Fotograf Epoksi/Amoniak/Asam Asetat yang telah curing sempurna



Tabel 4.1. Formulasi Variasi Perbandingan *Curing Agent* Amoniak/Asam Asetat terhadap Epoksi DGEBA

Material	Keterangan
Epoksi/Amoniak(13,4)/Asam Asetat(26,6)	Keras, mengkilat, tidak lengket sama sekali
Epoksi/Amoniak(20)/Asam Asetat(20)	Keras, mengkilat, tidak lengket
Epoksi/Amoniak(26,6)/Asam Asetat(13,4)	Sedikit lebih lunak, terdapat sedikit void, mengkilat, tidak lengket

Tabel 4.2. Formulasi Variasi Perbandingan Komposisi *Curing Agent* terhadap Epoksi DGEBA

Material	Keterangan
Epoksi/Amoniak(10)/Asam Asetat(20)	Keras, mengkilat, tidak lengket
Epoksi/Amoniak(13,4)/Asam Asetat(26,6)	Keras, mengkilat, tidak lengket
Epoksi/Amoniak(16,7)/Asam Asetat(33,3)	Keras, mengkilat, tidak lengket, ada sedikit void
Epoksi/Amoniak(20)/Asam Asetat(40)	Keras, mengkilat, tidak lengket, ada sedikit void

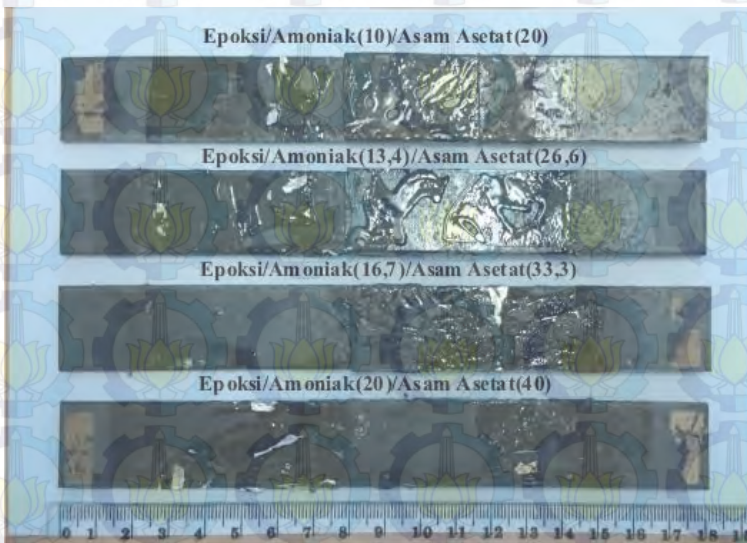
4.1.2 Preparasi Spesimen Uji Adhesif

Epoksi/Amoniak/Asam Asetat diaplikasikan menjadi adesif pada baja A36. Epoksi dipreparasi dengan menambahkan Asam Asetat dan Amoniak sebagai hardener.

Gambar 4.3 menunjukkan spesimen uji adhesif yang mengacu pada ASTM D1002, dan Gambar 4.4 menunjukkan



spesimen uji tarik yang dilakukan sesuai dengan standar ASTM D 638M. Campuran Epoksi/Amoniak/Asam Asetat dimasukkan ke oven pada temperatur 165°C selama 1jam untuk proses pengentalan sehingga mempermudah pengaplikasian pada baja A36. Pelat yang digunakan adalah pelat baja ASTM A-36 dengan ukuran 102,5 x 25,4 x 3 mm. Permukaan baja digrinding dengan menggunakan kertas ampelas grade 80 yang bertujuan untuk membersihkan debu, kotoran, dan oksida yang ada diatas permukaan pelat. Selanjutnya, campuran epoksi dituang ke permukaan dua pelat baja dan direkatkan sehingga membentuk single-lap joint. *Curing* pada spesimen adhesif dilakukan di dalam oven dengan temperatur 225°C temperatur selama 3 jam.



Gambar 4.3 Spesimen Uji Adhesif



Gambar 4.4 Spesimen Uji Tarik

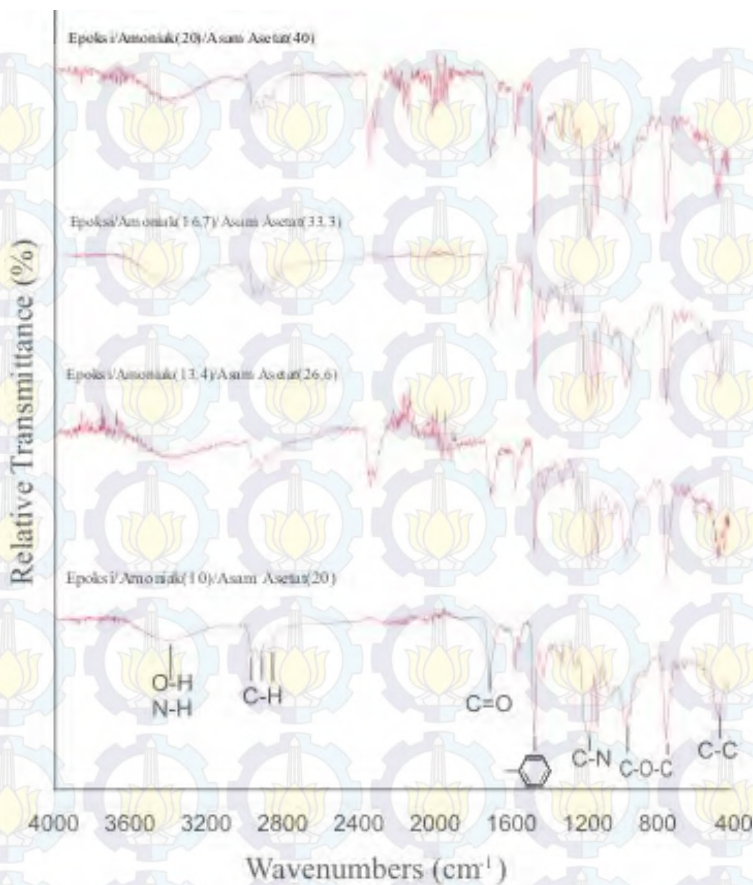


4.2 Hasil Pengujian

4.2.1 Analisis Pengujian FTIR

Diglycidyl Ether Bisphenol A / DGEBA memiliki ikatan yang membentuk *fingerprint* pada pengujian FTIR. *Fingerprint* pada DGEBA terdiri dari *wavenumber* 2965-2870 cm^{-1} yang berupa ikatan C-H dari CH_2 dan CH aromatik dan aliphatik, 1606 cm^{-1} yang merupakan ikatan rantai ganda C dari cincin aromatik, 1506 cm^{-1} yang merupakan ikatan benzena dan C-C dari aromatic, 1031 cm^{-1} yang merupakan ikatan C-O-C dari ether, 913 cm^{-1} yang merupakan ikatan C-O dari grup *oxirane*, 862 cm^{-1} yang merupakan ikatan C-O-C dari grup *oxirane*, dan 769 cm^{-1} yang merupakan ikatan CH_2 .

Pada spesimen hasil proses *curing* dengan *curing agent acetamide*, terdapat beberapa perubahan yang diakibatkan dari perubahan struktur kimia. Ikatan C-H berubah menjadi 2692 cm^{-1} , ikatan C=C bergeser dari 1606 cm^{-1} menuju 1703 cm^{-1} , ikatan 1506 cm^{-1} bergeser menjadi 1507 cm^{-1} . *Wavenumber* 1031 cm^{-1} bergeser menjadi 1038 cm^{-1} , 913 cm^{-1} hilang menjadi 1010,72 cm^{-1} , 862 cm^{-1} menjadi 826 cm^{-1} , dan 769 cm^{-1} menjadi 766 cm^{-1} . Pergeseran ini menandakan bahwa spesimen mengkonfirmasi asal mula resin DGEBA spesimen (CHERDOUD-CHIHANI, et al., 1998).



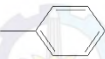
Gambar 4.5 Spektra Inframerah Epoksi dengan Curing Agent Amoniak/Asam Asetat

Gambar 4.5 menunjukkan hasil pengujian FTIR epoksi dan *curing agent* amoniak/asam asetat yang dimana semakin besar komposisi *curing agent* maka daerah serapan ikatan O-H semakin besar, dan terbentuk ikatan amida (C-N) dan C-O-C dari eter yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 Hal ini sesuai



dengan jurnal yang ditulis oleh Yanling bahwa ikatan crosslinking antara amina primer dengan epoksi terjadi pada gugus C-N dan menyebabkan pemutusan ring rantai epoksi karena ketidakstabilan unsur karbon sehingga rantai epoksi saling berikatan satu sama lain dengan membentuk ikatan C-O-C. dan Tabel 4.3

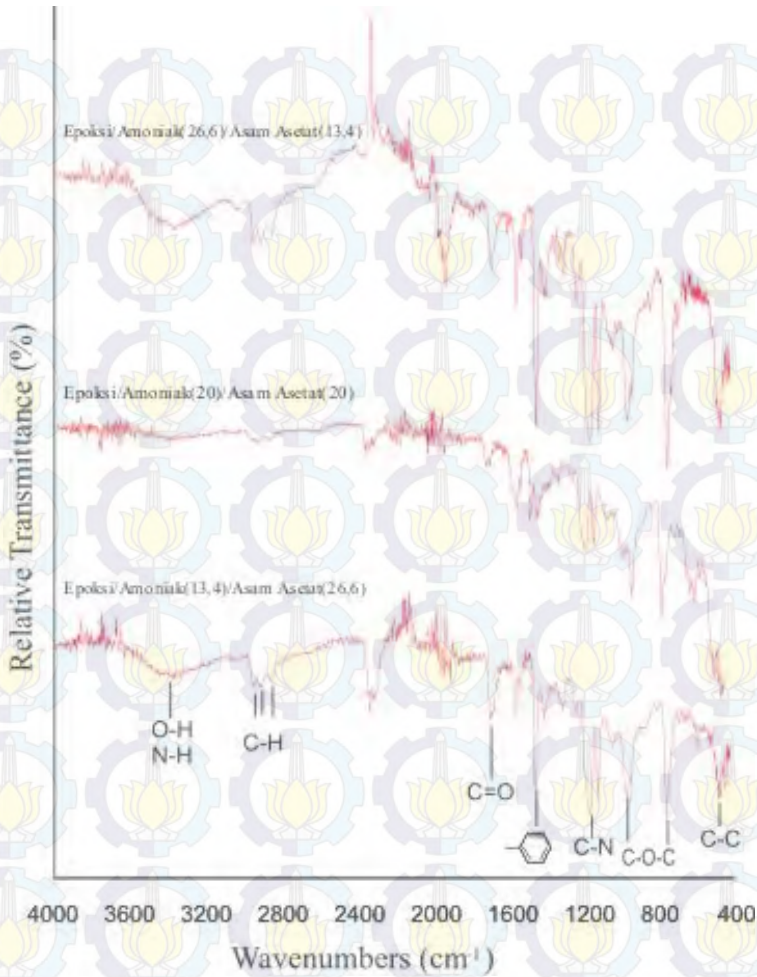
Tabel 4.3 Tabel Hasil FTIR Epoksi dengan Amoniak/Asam Asetat

Daerah Serapan E/Hardener (cm^{-1})	Ikatan	Gugus Fungsi
768,68-554,76	C-C stretch	eter
825,32-825,78	C-O-C stretch of oxyrane group	epoksi
1033,39-1037,99	C-O-C stretch of eter	eter
1104,32-1105,65	C-O stretch	hidroksil
1180,13-1180,68	C-N stretch	amida
1292,72-1294,60	C-H stretch	metil
1362,49-1363,28	C-N stretch	amida
1458,25-1459,57	C-N stretch	amida
1507,13-1507,71		aromatic
1606,04-1606,40	C=C stretch	aromatic



Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

	N-H deformation	amina
1734,90-1735,40	C=O stretch	keton
2868,30-2872,82	C-H stretch	alkana
2923,38-2929,22	O-H stretch	hidroksil
3369,53-3394,49	N-H stretch	Amina




Gambar 4.6 Spektra Inframerah Epoksi dengan Variasi Perbandingan Curing Agent Amoniak/Asam Asetat

Sedangkan pada gambar 4.6 menunjukkan hasil FTIR epoksi dengan variasi perbandingan amoniak dan asam asetat



sebagai curing agent yang dimana hasilnya tidak terlalu berbeda dengan hasil FTIR pada perbandingan epoksi dengan curing agent. Data daerah serapan hasil pengujian FTIR epoksi dengan perbandingan curing agent amoniak dan asam asetat ditunjukkan pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Tabel Hasil FTIR Epoksi dengan Variasi Perbandingan Amoniak/Asam Asetat Sebagai Curing Agent

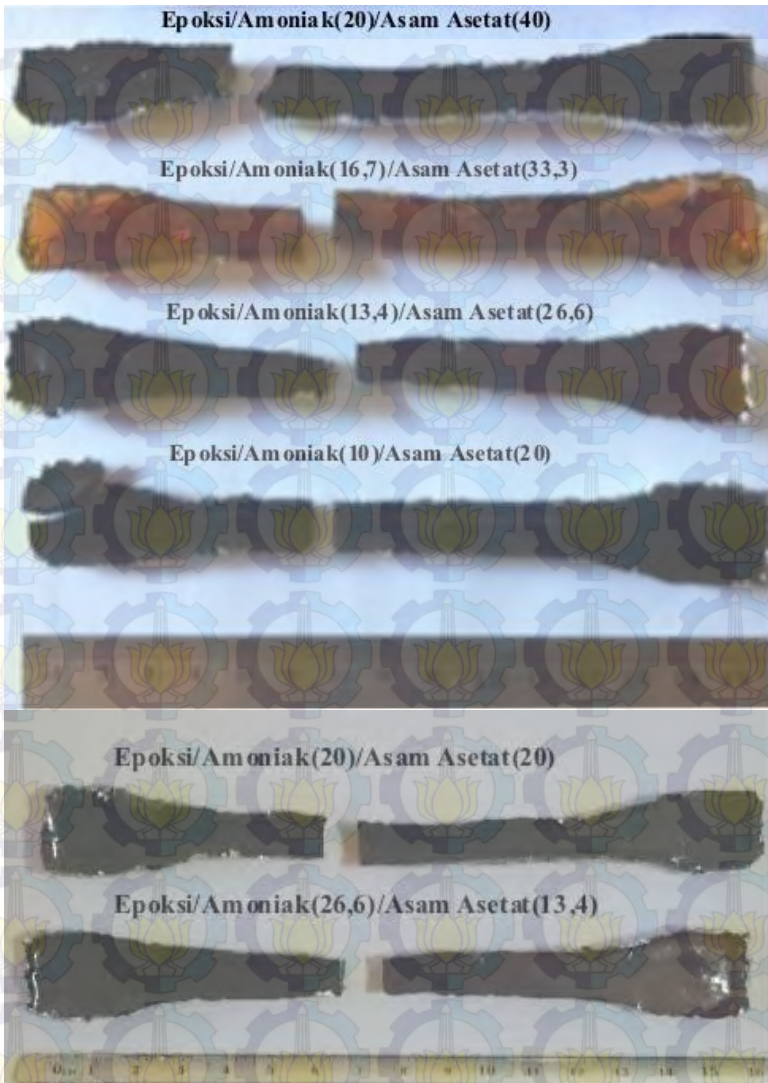
Daerah Serapan E/Hardener (cm ⁻¹)	Ikatan	Gugus Fungsi
547,08-558,82	C-C stretch	eter
823,34-825,32	C-O-C stretch of oxyrane group	epoksi
1032,02-1033,92	C-O-C stretch of eter	eter
1104,82-1106,07	C-O stretch	hidroksil
1179,30-1180,11	C-N stretch	amida
1291,20-1293,18	C-H stretch	metil
1361,09-1363,28	C-N stretch	amida
1455,04-1459,46	C-N stretch	amida
1507,67-1507,79		aromatic
1606,65-1606,86	C=C stretch	aromatic
	N-H deformation	amina



1733,28-1735,40	C=O stretch	keton
2868,30-2872,82	C-H stretch	alkana
2958,31-2929,22	O-H stretch	hidroksil
3365,67-3369,53	N-H stretch	Amina

4.2.2 Analisis Uji Tarik

Pengujian tarik yang dilakukan mengacu pada standar ASTM D638M. Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik pada polimer blend serta untuk mengetahui pengaruh penambahan Amoniak/Asam Asetat terhadap properti tarik epoksi. Gambar 4.7 menunjukkan foto spesimen yang telah dilakukan pengujian tarik.



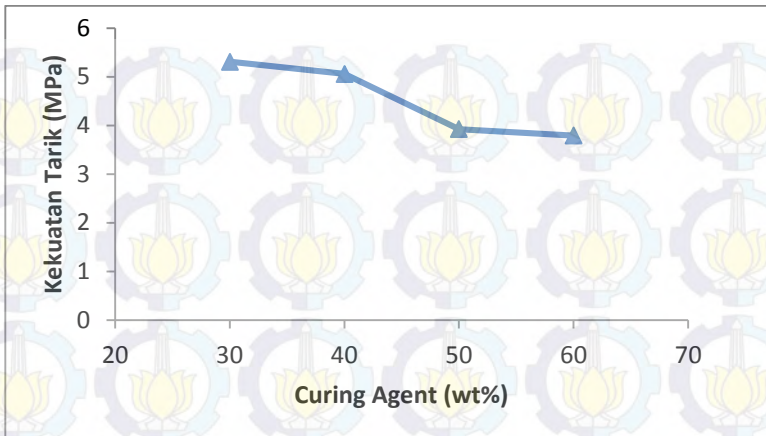
Gambar 4.7 Spesimen yang telah diuji tarik



Gambar 4.8 dan menunjukkan kekuatan tarik epoksi/amoniak/asam asetat. Berdasarkan grafik dibawah, kekuatan tarik tertinggi dimiliki oleh Epoksi/Amoniak(10)/Asam Asetat(20) yaitu sebesar 5,30 MPa. Kekuatan tarik menurun seiring dengan penambahan curing agent. Kekuatan tarik terendah dimiliki oleh Epoksi/Amoniak(20)/Asam Asetat(40) yaitu sebesar 3,79 MPa. Proses curing sangat berpengaruh dalam kekuatan tarik polimer epoksi. Dengan hasil ini maka tinggi maupun rendahnya properti tarik tergantung dari proses pematangan polimer blend epoksi/Amoniak/Asam Asetat yang mana proses pematangan ini juga tergantung dari *crosslink density* dan kekakuan rantai yang terbentuk (Garcia, 2011). Selain itu, porositas juga berpengaruh terhadap kekuatan tarik dari epoksi. Porositas menyebabkan terjadinya *internal stress* yang besar pada daerah poros saat pengujian tarik, sehingga kekuatan tarik polimer akan menurun (Fu dkk, 2008). Data properti tarik epoksi/Amoniak/Asam Asetat ditunjukkan oleh Tabel 4.5

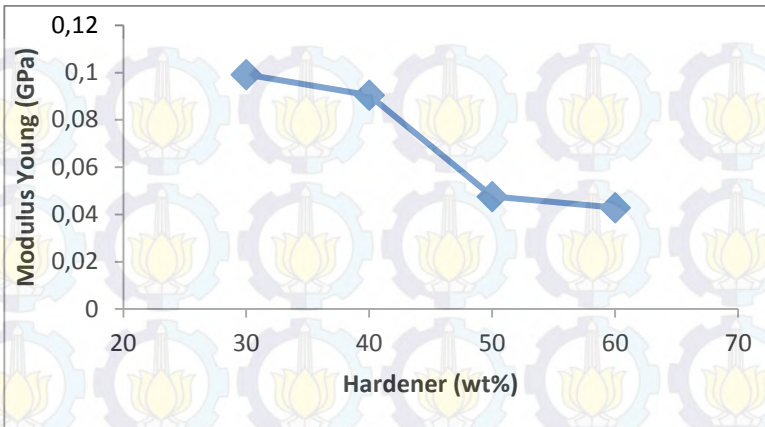
Tabel 4.5 Pengaruh Amoniak/Asam Asetat terhadap Properti Tarik Epoksi

Kode Sampel	Tensile Strength (MPa)	Modulus Young (GPa)	Elong asi (%)
Epoksi/Amoniak(10)/Asam Asetat(20)	5,30	0,099	5,35
Epoksi/Amoniak(13,4)/Asam Asetat(26,6)	5,06	0,090	5,59
Epoksi/Amoniak(16,7)/Asam Asetat(33,3)	3,92	0,047	8,24
Epoksi/Amoniak(20)/Asam Asetat(40)	3,79	0,042	8,84



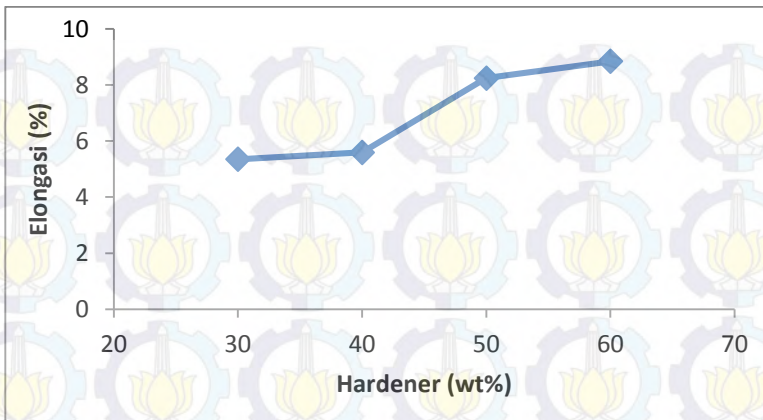
Gambar 4.8 Pengaruh Penambahan Amoniak/Asam Asetat terhadap Kekuatan Tarik Epoksi

Gambar 4.9 menunjukkan nilai modulus young atau nilai kekakuan polimer epoksi/amoniak/asam asetat. Nilai Modulus Young. Modulus Young optimum diperoleh pada penambahan curing agent 30% yaitu sebesar 0,099 GPa. Sedangkan penambahan 60% curing agent memiliki kekakuan terendah yaitu sebesar 0,042 GPa. Hal ini membuktikan bahwa kekakuan selaras dengan kekuatan tarik yang mana semakin tinggi nilai kekuatan tariknya maka semakin tinggi pula nilai kekakuannya dan sebaliknya. Peningkatan Modulus Young juga disebabkan karena meningkatnya derajat curing.



Gambar 4.9 Pengaruh Penambahan Amoniak/Asam Asetat terhadap Modulus Young Epoksi

Gambar 4.10 Menunjukkan nilai elongasi polimer blend epoksi/amoniak/asam asetat. Pada campuran epoksi dengan curing agent 30% memiliki nilai elongasi paling rendah yaitu 5,35%. Sedangkan pada Epoksi dengan curing agent 60% memiliki nilai elongasi sebesar 8,84%. Hal ini membuktikan bahwa elongasi berbanding terbalik dengan kekuatan tarik. Semakin tinggi nilai elongasi maka semakin rendah kekuatan tariknya dan sebaliknya.



Gambar 4.10 Pengaruh Penambahan Amoniak/Asam Asetat terhadap Elongasi Epoksi

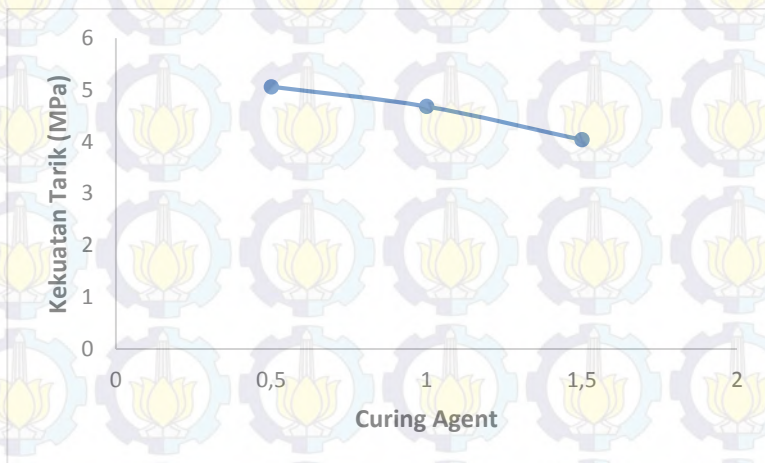
Pengujian tarik selanjutnya yaitu dengan membandingkan rasio amoniak/asam asetat sebagai curing agent epoksi 60%. Data properti tarik epoksi ditunjukkan oleh Tabel 4.6

Tabel 4.6 Pengaruh rasio amoniak/asam asetat terhadap Properti Tarik Epoksi DGEBA.

Kode Sampel	Tensile Strength (MPa)	Modulus Young (GPa)	Elongasi (%)
Epoksi/Amoniak(13,4)/Asam Asetat(26,6)	5,06	0,090	5,59
Epoksi/Amoniak(20)/Asam Asetat(20)	4,68	0,068	6,82
Epoksi/Amoniak(26,6)/Asam Asetat(13,4)	4,04	0,062	6,51



Gambar 4.11 menunjukkan grafik kekuatan tarik dari epoksi DGEBA dengan variasi perbandingan rasio amoniak/asam asetat sebagai curing agent. Epoksi DGEBA 60 wt% dengan curing agent amoniak(13,4)/asam asetat(26,6) ; amoniak(20)/asam asetat(20) ; amoniak(26,6)/asam asetat(13,4). Berdasarkan grafik dibawah ini, nilai kekuatan tarik dari epoksi dengan curing agent amoniak(13,4)/asam asetat(26,6) memiliki nilai paling optimal, yaitu sebesar 5,06 Mpa dan kekuatan tarik terendah pada campuran epoksi dengan curing agent Epoksi/Amoniak(26,6)/Asam Asetat(13,4) yaitu sebesar 4,04 Mpa.



Gambar 4.11 Pengaruh Rasio Curing Agent Amoniak/Asam Asetat Terhadap Kekuatan Tarik Epoksi DGEBA

Gambar 4.12 menunjukkan nilai modulus young atau nilai kekakuan polimer Epoksi DGEBA 60 wt% dengan curing agent amoniak(13,4)/asam asetat(26,6) ; amoniak(20)/asam asetat(20) ; amoniak(26,6)/asam asetat(13,4). Nilai Modulus Young optimum diperoleh pada perbandingan curing agent amoniak(13,4)/asam asetat(26,6) yaitu sebesar 0,090 GPa.

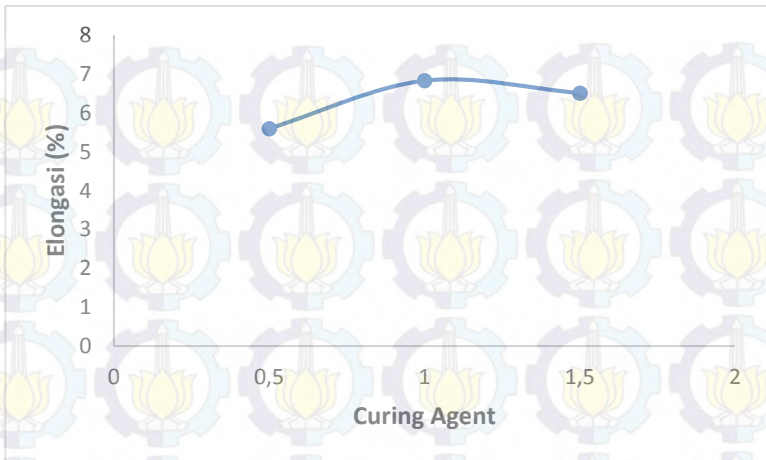


Sedangkan perbandingan curing agent amoniak(26,6)/asam asetat(13,4) memiliki kekakuan terendah yaitu sebesar 0,062 GPa. Hal ini membuktikan bahwa kekakuan selaras dengan kekuatan tarik yang mana semakin tinggi nilai kekuatan tariknya maka semakin tinggi pula nilai kekakuannya dan sebaliknya. Peningkatan Modulus Young juga disebabkan karena meningkatnya derajat curing.



Gambar 4.12 Pengaruh Rasio Curing Agent Amoniak/Asam Asetat Terhadap Modulus Young Epoksi DGEBA

Gambar 4.13 Menunjukkan nilai elongasi polimer Epoksi DGEBA 60 wt% dengan curing agent amoniak(13,4)/asam asetat(26,6) ; amoniak(20)/asam asetat(20) ; amoniak(26,6)/asam asetat(13,4). Pada campuran epoksi dengan curing agent amoniak(13,4)/asam asetat(26,6) memiliki nilai elongasi paling rendah yaitu 5,59%. Sedangkan pada Epoksi dengan curing agent amoniak(26,6)/asam asetat(13,4) memiliki nilai elongasi sebesar 6,51%.



Gambar 4.13 Pengaruh Rasio Curing Agent Amoniak/Asam Asetat Terhadap Elongasi Epoksi DGEBA

4.2.3 Analisis Uji Adhesif

Pengujian adhesif bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik atau kekuatan adhesif epoksi/amoniak/asam asetat terhadap kerekatan suatu baja. Pengujian ini dilakukan mengacu pada standard ASTM D1002 yakni *single-lap joint adhesive testing*. Data properti adhesif epoksi/amoniak/asam asetat ditunjukkan pada tabel 4.7

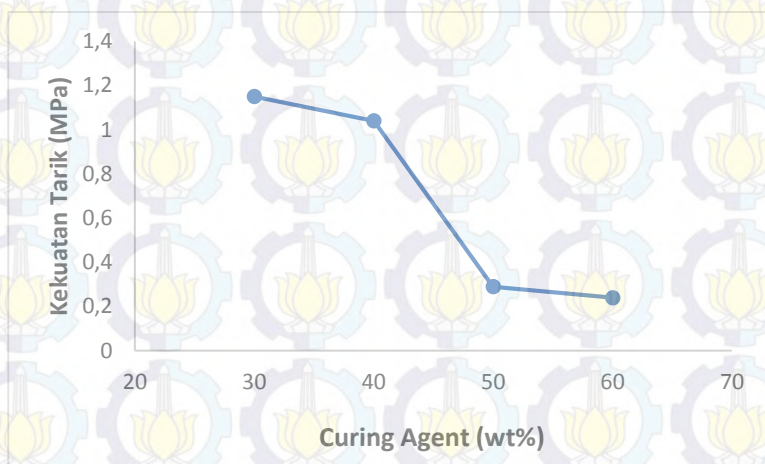
Tabel 4.7 Pengaruh Penambahan *Curing Agent* Amoniak dan Asam Asetat terhadap Kekuatan Adhesif Epoksi

Kode Sampel	Temperatur Pematangan (°C)	Adhesive Strength (MPa)
Epoksi/Amoniak(10)/Asam Asetat(20)	225	1,15
Epoksi/Amoniak(13,4)/Asam Asetat(26,6)	225	1,04



Epoksi/Amoniak(16,7)/Asam Asetat(33,3)	225	0,29
Epoksi/Amoniak(20)/Asam Asetat(40)	225	0,24

Gambar 4.14 menunjukkan properti adhesif terhadap penambahan *curing agent* amoniak dan asam asetat. Dengan penambahan *curing agent* amoniak dan asam asetat, kekuatan adhesif epoksi menurun seiring penambahan komposisi *curing agent* amoniak dan asam asetat yang semakin besar.



Gambar 4.14 Pengaruh Penambahan Amoniak/Asam Asetat terhadap Kekuatan Adhesif Epoksi

Berdasarkan gambar diatas, Epoksi/Amoniak(10)/Asam Asetat(20) memiliki kekuatan adhesif yang paling tinggi yaitu sebesar 1,15 MPa. Dan kekuatan adhesif paling rendah dimiliki oleh spesimen Epoksi/Amoniak(20)/Asam Asetat(40) yaitu sebesar 0,24 MPa. Hal ini sejalan dengan hasil pengujian tarik



yang mana pada sampel epoksi dengan penambahan curing agent 30 %berat memiliki kekuatan tarik optimum dan pada penambahan curing agent 60 %berat memiliki kekuatan tarik yang paling rendah. Dengan hasil ini maka tinggi maupun rendahnya properti tarik dan properti adhesif tergantung dari proses pematangan Epoksi/Amoniak/Asam Asetat yang mana proses pematangan ini juga tergantung dari *crosslink density* dan kekakuan rantai yang terbentuk (Garcia, 2011). Selain itu, properti adhesif juga tergantung dari *surface preparation* yaitu proses grinding pada permukaan pelat baja (Zhai, 2007)

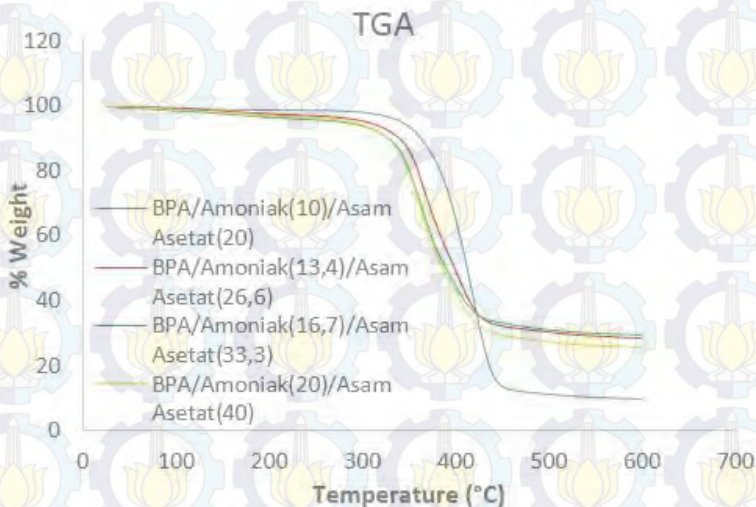
4.2.4 Analisis Pengujian TGA

Pengujian TGA dilakukan dengan memanaskan sampel dari temperatur 25°C sampai dengan 600°C untuk mengetahui perubahan massa dari sampel polimer terhadap kenaikan temperatur.

Gambar 4.15 menunjukkan pengaruh penambahan *curing agent* (Amoniak/Asam Asetat) terhadap stabilitas thermal epoksi BPA. Spesimen epoksi/Amoniak(10)/Asam Asetat(20) menunjukkan komposisi tersebut stabil terhadap panas hingga temperatur 370 °C. Pada temperatur 25 hingga 370 °C tidaklah terjadi pengurangan massa yang signifikan. Spesimen baru menunjukkan perubahan drastis setelah pemanasan diatas 370 °C. Sedangkan pada spesimen epoksi/Amoniak(13,4)/Asam Asetat(26,6) pada temperatur 25 hingga 340 °C menunjukkan komposisi tersebut mengalami pengurangan massa lebih banyak daripada epoksi/Amoniak(10)/Asam Asetat(20), tetapi spesimen masih stabil hingga temperatur 340 °C, dan spesimen baru menunjukkan perubahan drastis pada pemanasan diatas 340 °C. Lalu pada spesimen epoksi/Amoniak(16,7)/Asam Asetat(33,3) pada temperatur 25 hingga 330 °C menunjukkan penurunan massa yang sedikit lebih banyak daripada epoksi/Amoniak(13,4)/Asam Asetat(26,6), dan spesimen masih



stabil hingga temperatur 330 °C, tetapi baru mengalami perubahan drastis pada pemanasan diatas 330 °C. Untuk spesimen epoksi/Amoniak(20)/Asam Asetat(40) mengalami penurunan massa yang sedikit lebih rendah daripada spesimen epoksi/Amoniak(16,7)/Asam Asetat(33,3) pada pemanasan temperatur 25 hingga 330 °C, tetapi pada temperatur diatas 330 °C terjadi perubahan drastis yang dimana sama dengan spesimen Epoksi/Amoniak(16,7)/Asam Asetat(33,3)



Gambar 4.15 Pengaruh Penambahan *Curing Agent* Amoniak/Asam Asetat terhadap Stabilitas Thermal Polimer Epoksi.

Dari gambar tersebut terlihat bahwa dengan penambahan *curing agent* amoniak dan asam asetat akan menurunkan stabilitas thermal dari polimer Epoksi. Hal ini juga dibuktikan pada tabel 4.8 yang menunjukkan nilai pengurangan massa sampel polimer pada temperatur tertentu.



Tabel 4.8 Pengaruh Penambahan *Curing Agent* Amoniak/Asam Asetat terhadap Stabilitas Thermal Epoksi DGEBA

Kode Sample	T (°C) 5% weight loss	T (°C) 10% weight loss	Berat Sisa di 600°C (wt%)
Epoksi/Amoniak(10)/Asam Asetat(20)	342,5	363,2	8,2
Epoksi /Amoniak(13,4)/Asam Asetat(26,6)	304	339,3	26,5
Epoksi/Amoniak(16,7)/Asam Asetat(33,3)	273,3	327,8	27,3
Epoksi/Amoniak(20)/Asam Asetat(40)	287,2	327,5	23,7

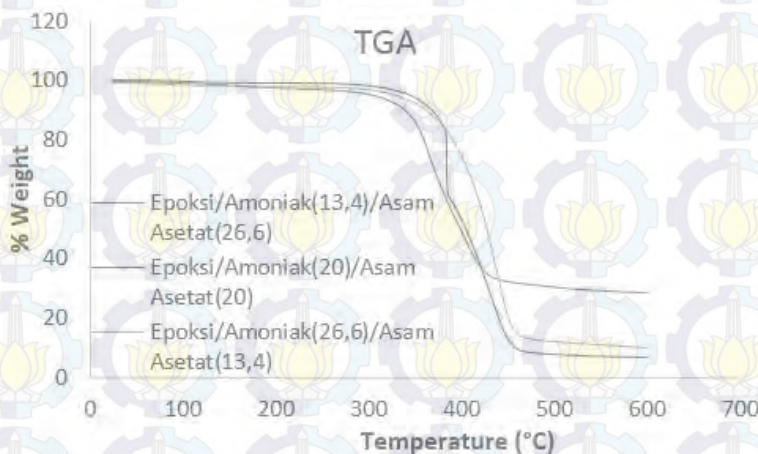
Penelitian yang dilakukan oleh Zhang pada tahun 2011 menunjukkan bahwa stabilitas thermal dari polimer dipengaruhi oleh 5% atau 10% pengurangan berat awal. Semakin tinggi temperatur yang dibutuhkan untuk menghasilkan 5% atau 10% pengurangan massa, semakin stabil jenis polimer tersebut.

Tabel 4.9 menunjukkan stabilitas thermal polimer Epoksi/Amoniak/Asam Asetat. Pengurangan massa Epoksi/Amoniak(10)/Asam Asetat(20) sebanyak 5% terjadi pada temperatur 342,5°C dan memiliki berat sisa sebesar 8,2% pada temperatur 800°C. Pada Epoksi/Amoniak(13,4)/Asam Asetat(26,6) pengurangan massa 5% terjadi pada temperatur 304°C dan memiliki berat sisa sebanyak 26,5%. Sedangkan Epoksi/Amoniak(16,7)/Asam Asetat(33,3), terjadi pengurangan massa 5% pada temperatur 273,3 °C dan memiliki berat sisa sebesar 27,3%. Lalu pada Epoksi/Amoniak(20)/Asam Asetat(40) pengurangan massa 5% terjadi pada temperatur 287,2°C dan memiliki berat sisa sebanyak 23,7%. Semakin tinggi presentase



curing agent maka semakin tinggi pula berat sisa yang dihasilkan, yang dimana disebabkan karena adanya pembentukan air yang lebih banyak sebelum terjadinya penguapan. Berdasarkan tabel diatas, bisa dikatakan bahwa semakin tinggi presentasi *curing agent* mengakibatkan stabilitas thermal menurun. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi komposisi Amoniak/Asam Asetat sebagai *curing agent* epoksi bisphenol a maka akan menurunkan stabilitas thermalnya.

Sedangkan pada pengujian TGA selanjutnya yaitu dengan membandingkan rasio amoniak/asam asetat sebagai curing agent epoksi 60%. Data hasil pengujian TGA ditunjukkan oleh Gambar 4.16



Gambar 4.16 Pengaruh Perbandingan Amoniak/Asam Asetat terhadap Stabilitas Thermal Epoksi DGEBA

Dari gambar tersebut terlihat bahwa perbandingan curing agent mempengaruhi stabilitas termal, dan pada tabel 4.9 memperlihatkan bahwa Epoksi/Amoniak(20)/Asam Asetat(20) memiliki kestabilan termal yang paling tinggi daripada Epoksi/Amoniak(13,4)/Asam Asetat(26,6) dan



Epoksi/Amoniak(26,6)/Asam Asetat(13,4). Sedangkan berat sisa yang paling banyak terdapat pada Epoksi/Amoniak(13,4)/Asam Asetat(26,6) yaitu sebesar 28,3 %wt. Sedangkan yang paling sedikit dimiliki oleh Epoksi/Amoniak(20)/Asam Asetat(20) yaitu sebesar 6,6 %wt.

Tabel 4.9 Pengaruh Perbandingan Amoniak/Asam Asetat terhadap Stabilitas Thermal Epoksi DGEBA

Kode Sample	T (°C) 5% weight loss	T (°C) 10% weight loss	Berat Sisa di 600°C (wt%)
Epoksi/Amoniak(13,4)/Asam Asetat(26,6)	304	339,3	28,3
Epoksi/Amoniak(20)/Asam Asetat(20)	342,9	367,5	6,6
Epoksi/Amoniak(26,6)/Asam Asetat(13,4)	330	362,5	10,0



Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari studi ini adalah:

1. Kekuatan Tarik dan modulus young tertinggi terdapat pada komposisi Epoksi/Amoniak(10)/Asam Asetat(20) yaitu 5,30 MPa dan 0,099 Gpa. Tapi seiring penambahan *curing agent*, nilai kekuatan tarik dan modulus young menurun.
2. Campuran Epoksi/Amoniak(10)/Asam Asetat(20) memiliki kestabilan termal yang paling baik pada variasi perbandingan epoksi dengan *curing agent* dengan berat sisa 8,2 wt%, sedangkan pada perbandingan komposisi amoniak/asam asetat Epoksi/Amoniak(20)/Asam Asetat(20) memiliki kestabilan termal yang paling tinggi dan memiliki berat sisa sebesar 6,6 wt%.
3. Kekuatan adhesif tertinggi terdapat pada komposisi Epoksi/Amoniak(10)/Asam Asetat(20) yaitu 1,15 MPa dan menurun drastis pada komposisi Epoksi/Amoniak(16,7)/Asam Asetat(33,3) yaitu dengan nilai sebesar 0,29 Mpa. Kekuatan adhesif paling rendah terdapat pada campuran Epoksi/Amoniak(20)/Asam Asetat(40) yaitu sebesar 0,24 MPa.

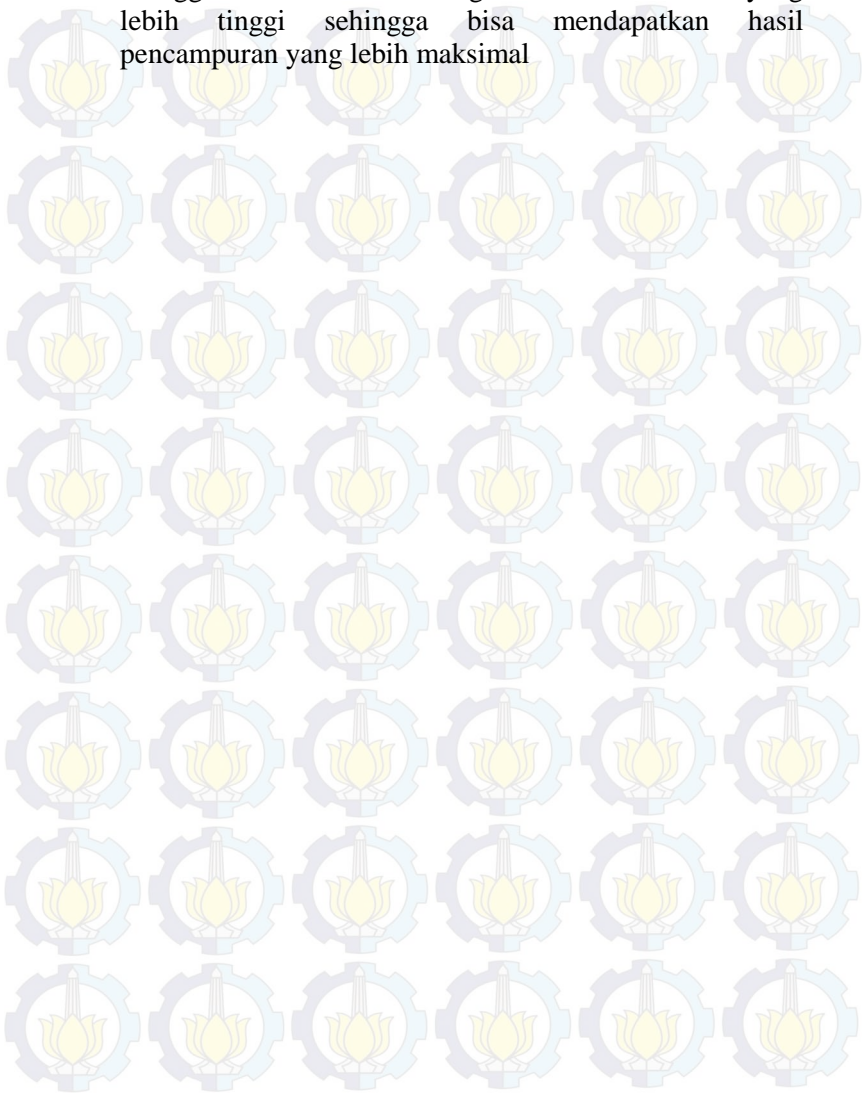
5.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan:

1. Adanya penelitian lanjut untuk meningkatkan sifat mekanik epoksi dan proses *curing* yang lebih cepat pada temperatur yang lebih rendah.
2. Proses preparasi pencampuran bahan sebaiknya menggunakan alat *mixing*, sehingga proses pencampuran menjadi homogen



3. Menggunakan Amoniak dengan kadar kemurnian yang lebih tinggi sehingga bisa mendapatkan hasil pencampuran yang lebih maksimal

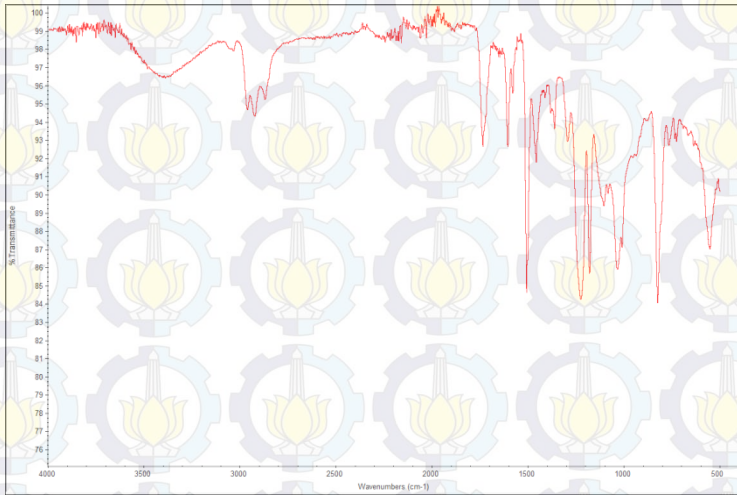


DAFTAR PUSTAKA

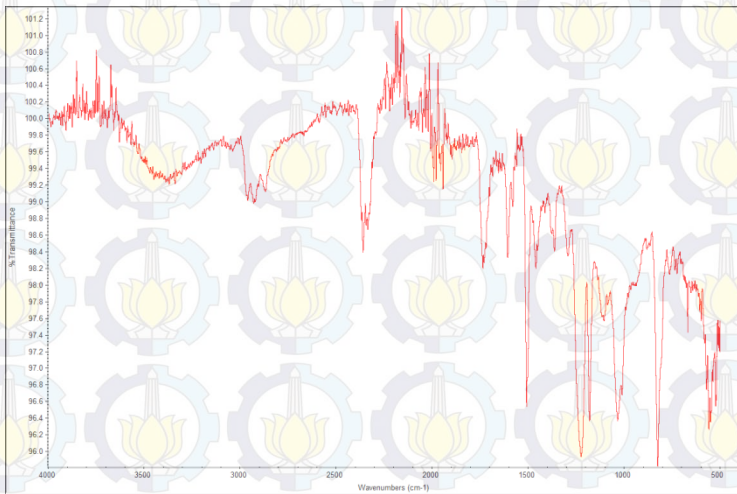
- _____. ASTM International Handbook Committee. (2006), *Standard Specification for Carbon Structural Steel ASTM A-36*, West Conshohocken, United State.
- _____. ASTM International Handbook Committee. (2010), *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics ASTM D-638 M*, West Conshohocken, United State.
- _____. ASTM International Handbook Committee. (2010), *Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal)* ASTM D-1002, West Conshohocken, United State.
- Cherdoud-Chihani. (1988), "Study Of Crosslinking AMS/DGEBA System By FTIR", *Journal Of Applied Polymer Science*, vol. 69, hal 1167-1178.
- Clearfield H.M, D. K. McNamara, and G. D. Davis. (1991), *Adherend surface preparation for structural adhesive bonding*, in: *Adhesive Bonding*, L. H. Lee, ed., New York.
- Garcia, Filiberto. (2011), "Durability Of Adhesives Based On Different Epoxy/Aliphatic Amine Networks", *Journal of Adhesion & Adhesives*, vol. 31, hal. 177-181.
- Hollaway, Leonard. (1994), *Handbook of Polymer Composites for Engineer*, .Woodhead Publishing Ltd, Cambridge.
- Kong, Xianzhi. (2013), "Study on Polyblending Epoxy Resin Adhesive with Lignin I-Curing Temperature", *International Journal of Adhesion & Adhesives*, vol. 48, hal. 75-79.
- Marie, Maggie B. (2001), "The Effect of Chemistry and Network Structure on Morphological and Mechanical Properties of Diepoxide Precursors and Poly(hydroxyethers)", *Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State, Virginia*.
- Packer, John. (1990), *Symposium of Adhesive Technology*, Polymer Group of the NZIC.

- Packham, D.E. (2005), *Handbook of Adhesion Second Edition*, John Wiley & Sons, Ltd, University of Bath UK, Bath.
- Pamungkas, Adi. (2011), "Studi Sifat Mekanik dengan Pengujian Tarik dan Ketangguhan Retak pada Komposit Epoxy-Kaolin", *MeTriK Polban*, Vol. 5, No.1, hal. 1-5.
- Petrie, Edward M. (2007), *Handbook of Adhesives and Sealants*. McGraw-Hill, United States of America.
- Shelley, Mee Y. and Mark, James E. (1999), *Polymer Data Handbook*, Oxford University Press, Oxford.
- Yanling Luo. (2007), "Response Behavior Of An Epoxy Resin/Amine Curing Agent/Carbon Black Composite Film To Various Solvents", *Materials Science and Engineering B* 139, hal 105-113.
- Zhai, L.L. (2007), "Effect of Nano- Al_2O_3 on Adhesion Strength of Epoxy Adhesive and Steel", *International Journal of Adhesion & Adhesives*, vol. 28, hal. 23-28.

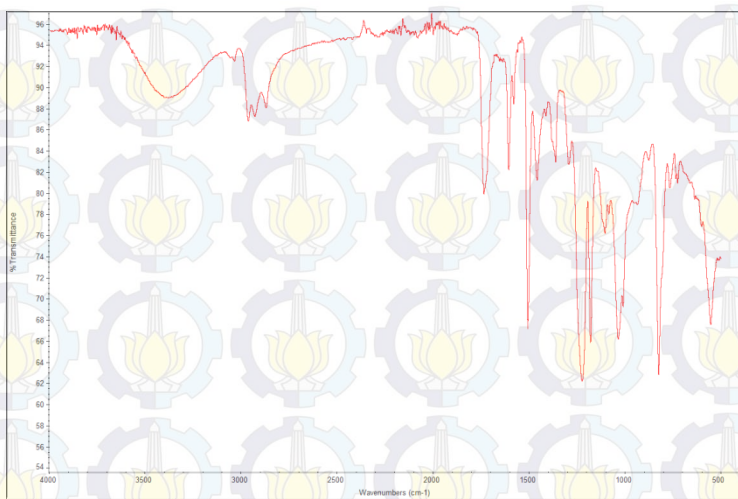
LAMPIRAN



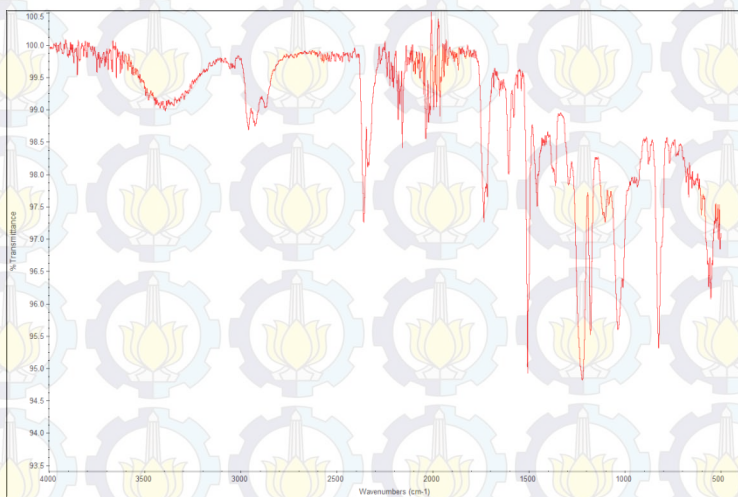
FTIR Epoksi/Amoniak(10)/Asam Asetat(20)



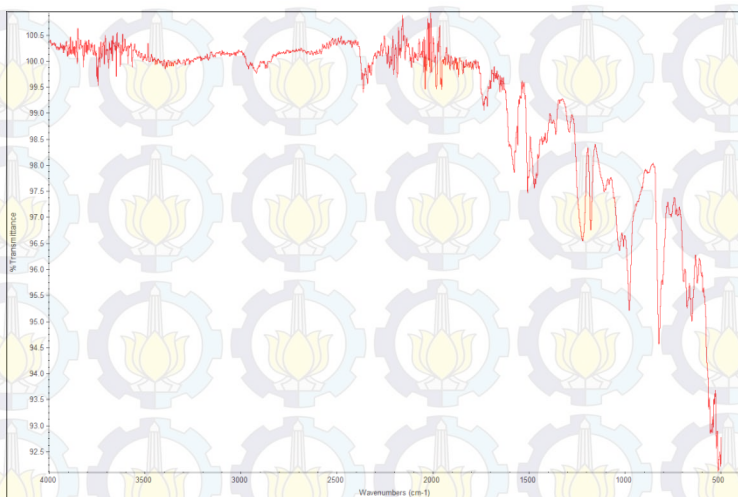
FTIR Epoksi/Amoniak(13,4)/Asam Asetat(26,6)



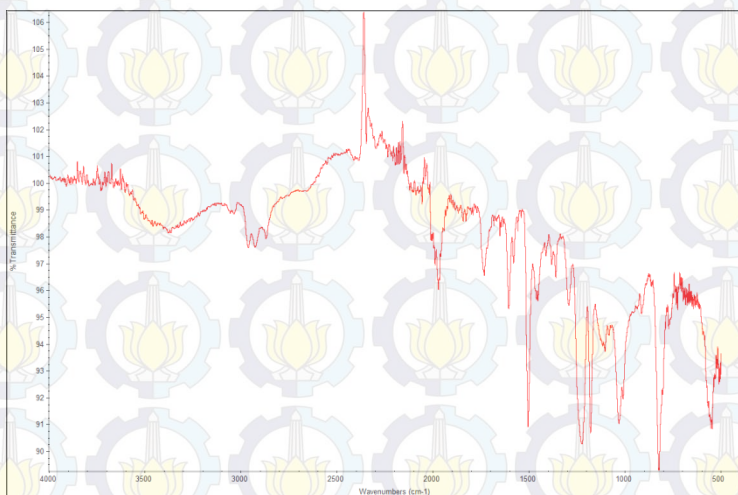
FTIR Epoksi/Amoniak(16,7)/Asam Asetat(33,3)



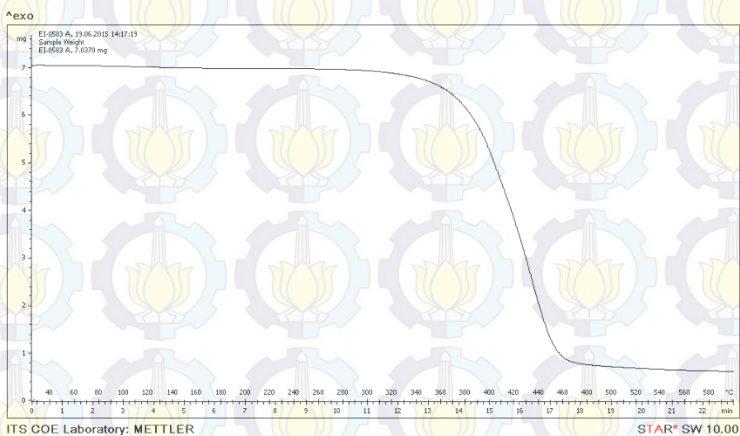
FTIR Epoksi/Amoniak(20)/Asam Asetat(40)



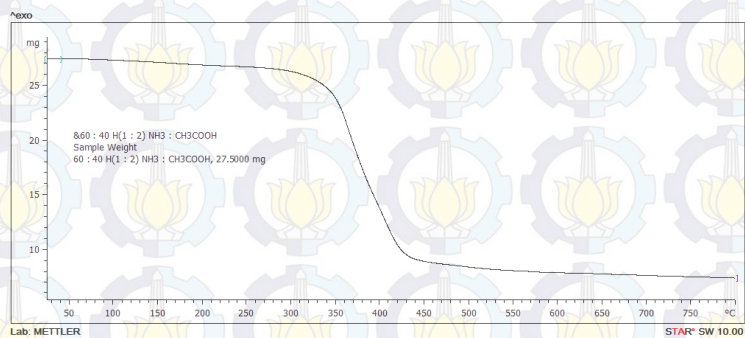
FTIR Epoksi/Amoniak(20)/Asam Asetat(20)



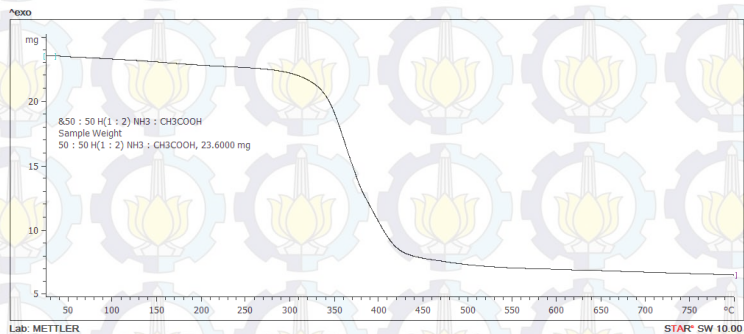
FTIR Epoksi/Amoniak(26,6)/Asam Asetat(13,4)



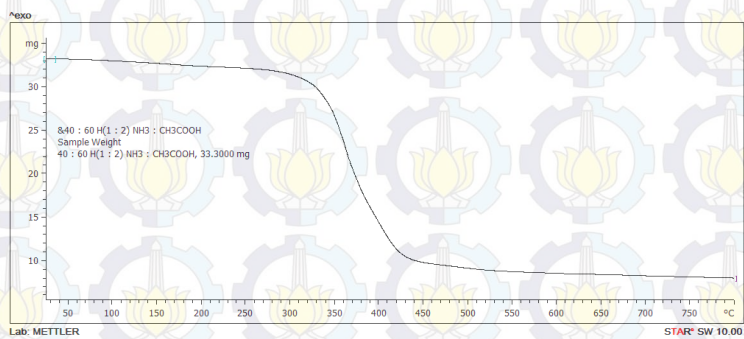
TGA Epoksi/Amoniak(10)/Asam Asetat(20)



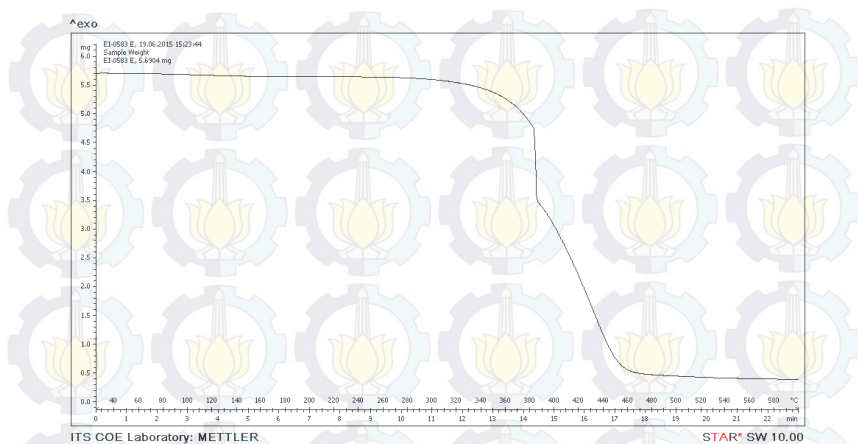
TGA Epoksi/Amoniak(13,4)/Asam Asetat(26,6)



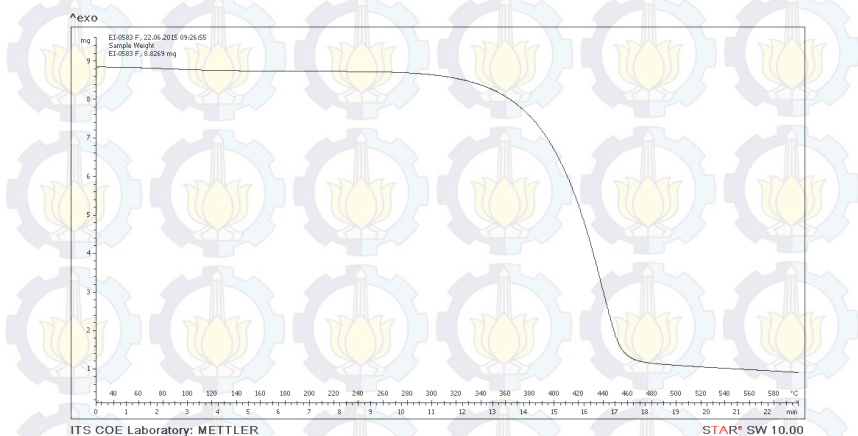
TGA Epoksi/Amoniak(16,7)/Asam Asetat(33,3)



TGA Epoksi/Amoniak(20)/Asam Asetat(40)



TGA Epoksi/Amoniak(20)/Asam Asetat(20)



TGA Epoksi/Amoniak(26,6)/Asam Asetat(13,4)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Satria Yudha Prabawa dilahirkan di kota Surabaya, 07 Juni 1991, merupakan putra dari pasangan Drs H Mashuri M,Si dan Dra Maharini. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN Tembok Dukuh 1/83 Surabaya, SMP Negeri 3 Surabaya, dan SMA Negeri 5 Surabaya. Setelah lulus dari SMA tahun 2009,

penulis diterima menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

Dalam kegiatan akademik, penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT Radiant Utama Interinsco Tbk di Jakarta. Di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ini penulis mengambil Tugas Akhir dalam Bidang Studi Material Inovatif.

Alamat penulis saat ini adalah Demak Timur VIII – 02 Surabaya, Kontak yang dapat dihubungi alamat email satria_yp@yahoo.com